



Tielaitos

Matti Huhtala, Pekka Halonen

Automaattisten akselipainovaakojen mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä

**Tielaitoksen
selvityksiä**

65/1994

Helsinki 1994

Tutkimuskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
65/1994

Matti Huhtala, Pekka Halonen

**Automaattisten akselipainovaakojen
mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä**

Tielaitos
Tutkimuskeskus

Helsinki 1994

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-011-3

Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

Julkaisua saatavana:
Tielaitos, tutkimuskeskus

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Avainsanat WIM-vaaka, automaattivaaka ja akselipainopunnitus

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen yhteydessä selvitettiin Suomessa käytössä olevien automaattisten akselipainovaakojen mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja mahdollisia keinoja parantaa vaakojen suorituskyykyä. Tutkimuskohteina olivat Kotkassa ja Nakkilassa sijaitsevat vaaka-asemat.

Tutkimuksessa mitattiin tien pituusprofiilit vaaka-asemien kohdalta molempiin ajosuuntiin. Mittaukset tehtiin sekä VTT:n PTM-autolla että Dipstick-mittalaitteella. Kotkassa vaakalevyt olivat noin 1 - 2 cm alhaalla tienpinnan tasosta ja Nakkilassa noin 1,5 cm ylhäällä tienpinnan tasosta. Lisäksi tienpinta vaaittiin vaaka-asemien kohdalta keväällä ja loppukesällä. Vaaitukset osoittivat varsinkin Nakkilan vaaka-aseman kohdalla tienpinnan liikkuvan pystysuunnassa. Nämä pituusprofiilin muutokset aiheuttavat muutoksia myös kuorma-autojen dynaamisiin akselipainoihin.

Tietokone-simuloinnein selvitettiin mahdollisuutta muokata tien pituusprofiilia niin, että dynaamisten akselipainojen vaikutus vaa'an punnitustarkkuuteen olisi mahdollisimman pieni. Simuloinnit osoittivat, ettei muutamilla pienillä poikittaisurilla saada poistettua kuorma-auton rungon pystyliikettä, ja siitä seuraavaa dynaamisten akselipainojen lisääntymistä. Pitkillä keinotekoisilla epätasaisuuksilla on mahdollista vaimentaa dynaamisia akselipainoja, mutta niiden soveltaminen käytäntöön lienee vaikeaa. Simulointien perusteella havaittiin jo pienehköjenkin epätasaisuuksien aiheuttavan ei-toivottuja akselipainon vaihteluja. Vaakalevyjen tulee olla mahdollisimman hyvin (± 5 mm tarkkuudella) tienpinnan tasossa. Hyvään punnitustarkkuuteen päästään varmimmin tien ollessa sekä pituus- että poikkiprofiililtaan tasaista vähintään 100 metrin matkalta ennen vaaka-asemaa. Vaaka-aseman sijoittamista välittömästi kaarteeseen on vältettävä.

Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin vertailu paikallaan punnituksen ja automaattivaakojen antaman punnitustuloksen välillä. Samassa yhteydessä kerättiin tietoa punnituista ajoneuvoista. Tuloksia verrattiin eurooppalaisen tutkimusyhteistyöelimen COST-323:n käsittelyssä olevaan ehdotukseen automaattivaakojen luokittelusta esim. punnitustarkkuuden perusteella. Ehdotus sisältää viisi luokkaa (A - E). Tutkimuksessa olleet vaa'at sijoittuvat pääsääntöisesti luokkaan E. Vaakojen kalibrointia kehittämällä olisi mahdollista saavuttaa luokan D ja kokonaispainon punnituksen osalta jopa luokan C vaatimukset. Tärkeämpää on kuitenkin asentaa vaakalevy tienpinnan kanssa samaan tasoon.

Abstract

Factors affecting the measuring accuracy of steel-plate weigh-in-motion (WIM) systems used in Finland and also possible ways of improving their performance were examined in connection with this study. The WIM stations at Kotka and Nakkila were selected as the research sites.

The longitudinal profiles of the road were measured at the WIM stations in both driving directions. The measurements were made by VTT's Road Surface Monitoring vehicle (PTM) and the Dipstick measuring device. The weighing plates were about 1 - 2 cm lower than the level of the road surface at Kotka, and about 1,5 cm above the level of the road surface at Nakkila. Moreover, the road surface was measured with rod and level at the WIM stations in the spring and late summer. The measurements indicated seasonal vertical movement of the road surface, especially at Nakkila. Changes in these longitudinal profiles cause changes in the dynamic axle loads of trucks.

Computer simulations were used to study the possibilities of adjusting the longitudinal road profile so that the effect of dynamic axle loads on the accuracy of the WIM system is made as small as possible. The simulations indicated that a few small transverse grooves cannot eliminate vertical movement of a truck's body and the increase in dynamic axle loads that follows from it. Long, artificial unevennesses can moderate dynamic axle loads, but their practical application may be difficult. The simulations suggest that even quite small unevennesses cause unwanted axle load variations. The weighing plates should be as level as possible (± 5 mm) with the road surface. Good weighing accuracy is most reliably achieved when the road is both longitudinally and transversely level for a distance of at least 100 metres before the station. Locating a WIM station immediately after a curve should be avoided.

The results obtained by means of static weighing and weigh-in-motion were compared in connection with the study. Data on the vehicles weighed was also collected. The results were compared with the COST- 323 proposal on the classification of WIM systems, for instance, on the basis of measuring accuracy. The proposal includes five classes (A - E). The WIM systems examined in this study generally fall into class E. By developing the calibration of the present WIM systems it would be possible to meet the requirements of class D - even class C in the case of total weight measurement. More important would be, however, to get the weighing plate to the same level as the surface of the road.

Alkusanat

Tutkimuksessa selvitettiin Suomessa käytössä olevien automaattisten akselipainovaakojen (WIM) mittaustarkkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimussuunnitelma käsitti alunperin kahdeksan osaa, joista tässä tutkimuksessa toteutettiin kolme osaa. Tutkimuksessa oli mukana kaksi eri vaaka-asemaa, Kotkan (Vt 15/03) vaaka-asema Kaakkois-Suomen tiepiiristä sekä Nakkilan (Vt 2/45) vaaka-asema Turun tiepiiristä. Molempien vaaka-asemien vaa'at ovat Oy Evoscale Systems Ltd:n valmistamia Evoroad tyyppisiä vaakoja. Tie-donkeruulaitteiston on valmistanut Ins.tsto Harri Jokela Oy.

Tutkimuksen on tilannut tielaitos ja yhdyshenkilönä on toiminut tieinsinööri Matti Pietilä. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen yhdyskuntatekniikan tie- ja geotekniikan tutkimusryhmässä tutkimuksesta ovat vastanneet johtava tutkija Matti Huhtala ja tutkimusinsinööri Pekka Halonen. Tutkimusta on ohjannut työryhmä, johon edellisten lisäksi on kuulunut tielaitoksesta tutkija Bo Manns 19.6.1994 asti ja kauppat.maist. Kari Hiltunen. Tutkimusraportin ovat laatineet Matti Huhtala ja Pekka Halonen. Kenttämittauksista Kaakkois-Suomen tiepiirissä ovat vastanneet rkm Esko Ristolainen ja rkm Juhani Laitinen sekä Turun tiepiirissä rkm Pekka Vuorila ja työnjohtaja Hannu Kallio. Kenttämittaukset VTT:n PTM-auton osalta ovat tehneet tutkimusavustajat Göran Huldin ja Tapio Jousinen sekä Dipstick-mittausten ja punnitusten osalta Pekka Halonen. Nakkilan staattisista punnitusmittauksista vastasi ylikonstaapeli Jorma Penttilä Turun Liikkuvasta Poliisista.

Helsingissä joulukuussa 1994
Tutkimuskeskus

Sisältö

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 9 |
| <hr/> | |
| 2 TIEN PITUUSPROFIILIT | 12 |
| <hr/> | |
| 2.1 Tien tasaisuus | 12 |
| 2.2 Tien pituusprofiilimittaukset | 12 |
| 2.3 Vaaitus | 16 |
| <hr/> | |
| 3 DYNAAMISTEN AKSELIPAINOJEN SIMULOINTI | 19 |
| <hr/> | |
| 3.1 Kuorma-auton dynaamiset liikkeet | 19 |
| 3.2 Simulointimalli | 20 |
| 3.3 Pituusprofiilien muokkaus | 20 |
| 3.4 Simulointitulokset | 21 |
| <hr/> | |
| 4 STAATTINEN JA WIM-PUNNITUS | 29 |
| <hr/> | |
| 4.1 Staattinen punnitus | 29 |
| 4.2 Punnitus automaattivaa'alla | 32 |
| 4.3 Tarkkuusvaatimukset ja punnitustulosten vertailu | 33 |
| <hr/> | |
| 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 40 |
| <hr/> | |
| 6 JATKOTUTKIMUKSIA | 42 |
| <hr/> | |
| 7 KIRJALLISUUSLUETTELO | 44 |
| <hr/> | |
| 8 LIITTEET | 45 |
| <hr/> | |

1 JOHDANTO

Liikenteessä olevien kuorma-autojen akselipainoja mitataan joko pysäyttämällä autot ja ajamalla ne tien varteen usein levähdysalueille sijoitetuille kannettaville vaaoille tai mittaamalla automaattisilla tiehen kiinteästi sijoitetuilla vaaoilla ohiajaviin autojen akselipainot. Näitä kutsutaan usein automaattisiksi akselipainovaaioiksi tai käytetään englanninkielestä tullutta lyhennettä WIM (weigh-in-motion).

Akselipainojen perusteella saadaan autojen kokonaispainot. Akseli- ja kokonaispainoja tarvitaan liikenteen, kuljetusten ja autokannan kehityksen seurantaan, kuorma-autojen teille aiheuttaman rasitusvaikutuksen arviointiin sekä uuden ja parannettavan tierakenteen mitoittamiseen. Mm. yleistyvät sementtistabiloinnit ovat paljon herkempiä suurille akselipainoille kuin perinteelliset tierakenteet. Mikäli akselipainot tiedetään riittävän hyvin, tienpidon ohjaukseen käytettävien PMS-mallien tarkkuus paranee. Automaattivaakoja käytetään akselipainomääräysten valvontaan, joskin niiden tarkkuus ei riitä sakoittamiseen. Niiden avulla saadaan tietoa ylityksistä ja valvonta voidaan kohdentaa oikeaan paikkaan tai voidaan poimia liikenteestä todennäköiset ylikuormat. Akselipainojen tunteminen on tärkeää havaintokoeteillä ja koeteillä. Käyttämällä useita vaakoja voidaan arvioida tien epätasaisuudesta ja jousituksesta aiheutuvien dynaamisten rasitusten suuruus. Lisäksi yhdistettynä liikennevirtamittauksiin voidaan selvittää tavaravirtoja ja tulliasemilla selvittää tietyissä rajoissa, vastaavatko asiakirjat ja auton sisältö toisiaan tai onko mahdollisesti sinetöidyn auton lasti lisääntynyt tai vähentynyt. Punnitus-ten perusteella voidaan todeta, johtuvatko yllättävät tien rikkoontumiset mahdollisesti täysin väärin arvioidusta kuormituskertaluvusta.

Automaattisten vaakojen päätyypit ovat levyvaaka, nauhavaaka ja siltavaaka (nimitykset eivät ole vakiintuneet).

Levyvaa'assa on tiellä yleensä kummankin ajouran kohdalla jäykkä teräslevy, joka on sen kokoinen, että koko pyörä (tai paripyörä) on levyn päällä. Levy on tavallisimmin neljän voima-anturin päällä, joiden mittaamien voimien summa on sama kuin pyöräpaino. Koska koko pyörä on vaa'alla ja mittaust perustuu voima-antureihin, itse vaaka on tarkka. Ongelmaksi on osoittautunut vaa'an ja mittaustantureiden mekaaninen ja sään kestävyys sekä vaa'an liikkeit ja päällysteen kuluminen, joiden takia vaakalevy ei aina ole tienpinnan tasossa. Tästä aiheutuu dynaamisia iskuja, jolloin vaa'an tulos ei ole todellinen.

Nauhavaaka perustuu tiehen asennettuun jännitystä mittaavaan nauhaan, joka on tiehen upotettava pietsokaapeli tai uutuutena valokaapeli tai tien pinnalle asennettava matala kapasitiivinen anturi. Kaapeli asennetaan suo-

raan päällysteeseen tai tavallisemmin U-muotoiseen metallikouruun, jolloin se mittaa vain ylhäältä tulevaa pystysuoraa painetta. Kaapelin läpimitta voi olla suuruusluokaltaan alle 10 mm, joten auton pyörän ylittäessä kaapelin on painearvo integroitava, jotta saataisiin ylittävän pyöräpainon suuruus.

Nauhavaaoissa itse kaapelianturi on suhteellisen halpa. Tämä mahdollistaa antureiden asentamisen useisiin mittauskohteisiin ja yhtä tiedonkeruuyksikköä voidaan kierrättää. Mittauskaapeli ja erityisesti sitä ympäröivä materiaali on herkkä lämpötilan ja jossain määrin kosteuden muutoksille, joten näiden vaikutus on korjattava tiheällä kalibroinnilla tai muilla tavoin.

Ohuet kapasitiiviset anturit asennetaan päällysteen päälle joko yksittäisinä tai mattona. Niillä on samoja ongelmia kuin pietsosähköisissä antureissa. Päällysteen päälle sijoitettavina niitä käytetään yleensä vain lyhyen aikaa kestävässä mittauksissa.

Silta- ja rumpuvaa'at perustuvat siihen, että venymäliuskoilla mitataan sillan tai rummun ylittävän kuorma-auton sillan aiheuttamia muodonmuutoksia. Sillan on oltava sopiva rakenteeltaan ja mitoiltaan eikä liikenne saa olla liian suuri. Ongelma onkin, että aina ei ole löydettävissä sopivaa siltaa sopivalta paikalta. Siltavaakoja käytetään yleisesti Australiassa.

Kaikki edellä esitetyt vaa'at mittaavat hetkellistä dynaamista akselipainoa, vaikka yleensä ollaan kiinnostuneita staattisesta akselipainosta. Dynaamiset akselipainot ovat usein $\pm 20\%$ staattisesta akselipainosta eli esim. staattisen 100 kN akselipainon asemasta todellinen dynaaminen akselipaino vaihtelee välillä 80 - 120 kN. Erittäin tasaisellakin tiellä vaihtelu on $\pm 10\%$. Perussyynä on tien epätasaisuus, mutta hyvä jousitus pienentää näistä liikkeistä tielle aiheutuvia dynaamisia akselipainoja. Koska dynaaminen akselipainovaihtelu on jossain määrin satunnaista, kokonaispainon virhe on pienempi kuin yksittäisen akselipainon virhe.

Dynaamiset akselipainot muodostuvat useista komponenteista kuten akselin pomppimisesta, jolloin taajuus on suuruusluokaltaan 10 Hz, telin keinunnasta, usein vajaa 10 Hz sekä koko auton heijautumisesta ja nyökkimisestä, taajuus 1,5 - 3 Hz. Eri tekijöiden osuus dynaamisesta akselipainosta vaihtelee tie-, auto- ja akselikohtaisesti.

Dynaamisesta akselipainosta aiheutuvat ongelmat koskevat kaikkia automaattisia vaakatyyppejä. Asia on kansainvälisesti ottaen varsin uusi, sillä vaakatehtaat eivät ole olleet kiinnostuneet asiasta; heitä on kiinnostanut vain vaa'an teknillinen toiminta. Ilmiö on ollut uusi tieinsinööreille ja vaikka autoinsinöörit ovat asiasta jotain tienneet, yhteistyö on ollut olematonta aina näihin

aikoihin asti. Siksi dynaamisen akselipainojen aiheuttamaan ongelmaan on paneuduttu vasta 1990-luvulla.

Tielaitos on tehnyt valtakunnallisia akselipainotutkimuksia pysäyttämällä ja mittaamalla kuorma-autoja vuosina 1971 (24000 kuorma-autoa), 1976 (2400 kuorma-autoa), 1984 (4440 kuorma-autoa) ja 1986 (32200 kuorma-autoa). Pienempiä erillisiä painotutkimuksia on tehty vuosina 1962, 1963, 1974 ja 1982.

Suomen tielaitos siirtyi käyttämään automaattisia vaakoja 1987, jolloin asennettiin ensimmäiset 12 vaa'asta. Kaikki vaa'at ovat olleet levyvaakoja, ensimmäiset saksalaisia PAT-vaakoja, sittemmin tanskalaisia Danvaegt-vaakoja ja viimeiset suomalaisia Evoroad-vaakoja. Ongelmina on ollut mekaaninen ja säänkestävyys. Vaa'at joutuvat alttiiksi Suomessa erittäin suurille rasituksille; suuret lämpötilaerot, suolavesi, nastarenkaat sekä tien liikkeet rasittavat vaakoja. Näihin valmistajat eivät ole osanneet varautua ja nyt toimintakunnossa onkin enää vain neljä vaakaa. Tulosten käyttökelpoisuus on myös osoittautunut kyseenalaiseksi.

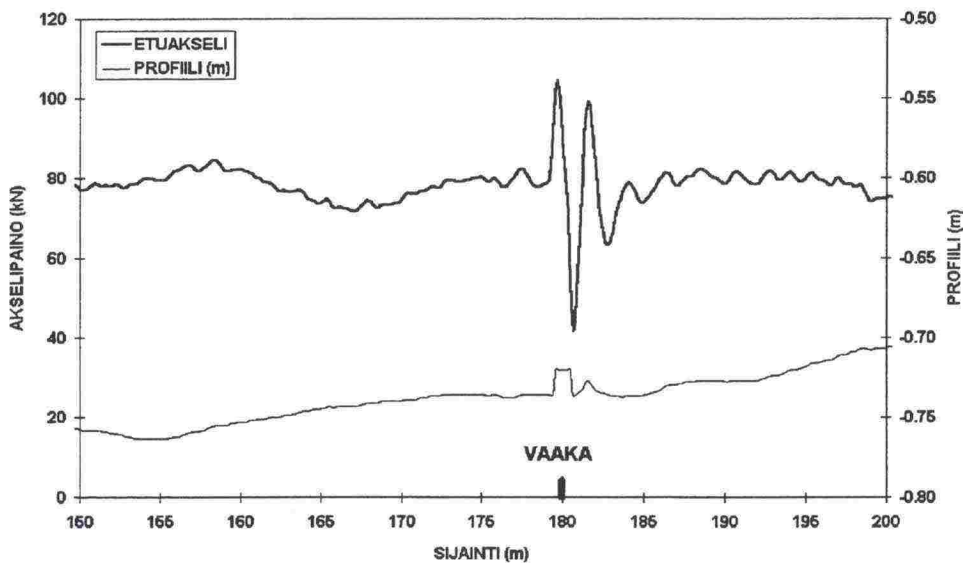
Automaattisten vaakojen mittaustarkkuuteen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi laadittiin kahdeksanosainen tutkimussuunnitelma (liite 1), josta ensimmäisessä vaiheessa toteutettiin osat 1, 2 ja 6. Tällöin mitattiin tien pituusprofiilit ja seurattiin vaakojen liikkeitä, muutettiin tietokoneessa pituusprofileja ja simuloitiin tietokoneella profiilien vaikutusta akselipainovaakojen tuloksiin sekä verrattiin automaattisilla vaa'illa saatuja tuloksia staattisiin punnituksiin.

Tutkimuksen kohteiksi valittiin Kaakkois-Suomen tiepiirin alueella sijaitseva Kotkan vaaka-asema (Vt 15/03) sekä Turun tiepiirin alueella sijaitseva Nakkilan vaaka-asema (Vt 2/45). Molempien asemien vaa'at ovat Oy Evoscale Systems Ltd:n valmistamia Evoroad tyyppisiä vaakoja. Tiedonkeruulaitteiston on valmistanut Ins.tsto Harri Jokela Oy.

2 TIEN PITUUSPROFIILIT

2.1 Tien tasaisuus

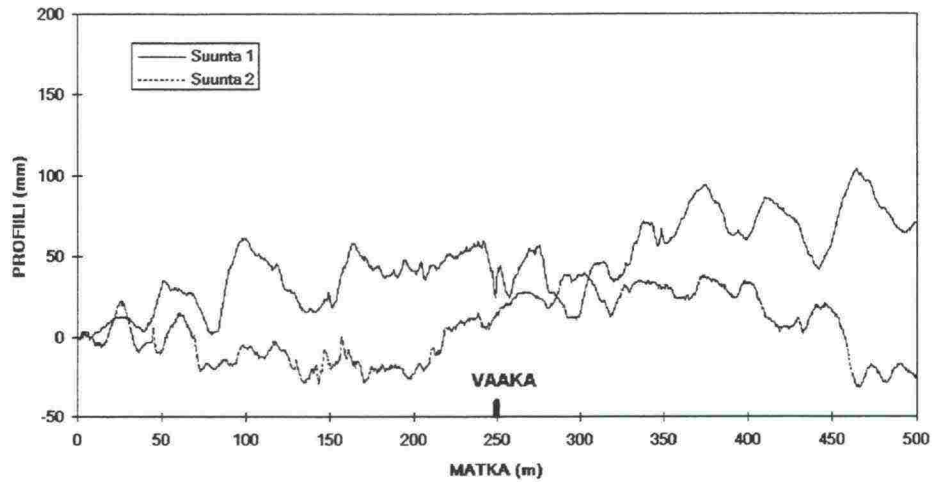
Käyttötarkoituksen mukaisen mittaustarkkuuden saavuttamiseksi vaakaseman paikka tulee valita niin, että tien mahdollisesta epätasaisuudesta aiheutuu mahdollisimman vähän liikkuvaan ajoneuvoon dynaamisia akselipainoja eli hetkellisesti staattisen akselipainon ylittäviä tai alittavia kuormia. Kuvassa 1 on esimerkki dynaamisesta akselipaino-ilmiöstä. Koholla oleva vaakalevy aiheuttaa selvän lisän dynaamiseen akselipainoon (vaaka kohdalla 180 m). On myös otettava huomioon, että tie on tasainen sekä poikki- että pituussuunnassa vähintään 100 metriä ennen vaakaa. Tien tulee olla myös suora edellä mainitulla matkalla ennen vaakaa. Tien pohjarakenteen tulee olla routimatonta, ettei vuodenaikavaihteluista aiheudu tienpinnan elämistä.



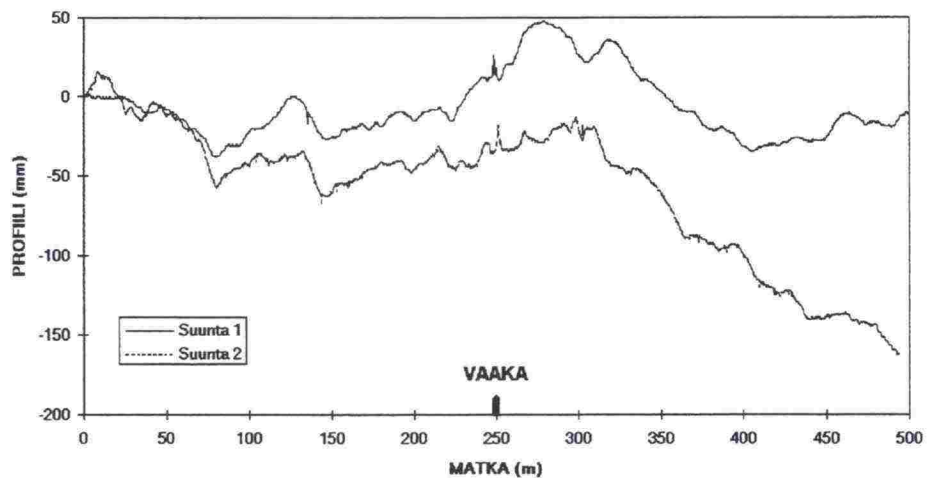
Kuva 1: Esimerkki epätasaisuuden (koholla oleva vaakalevy) vaikutuksesta etuakselin dynaamiseen akselipainoon, Nakkila suunta 1 (Helsinki - Pori).

2.2 Tien pituusprofiilimittaukset

Tutkimuksessa tehtäviä tietokone-simulointeja varten kummankin WIM-aseman tien pituusprofiilit mitattiin VTT:n palvelutasomittarilla (PTM-auto). Mittaukset tehtiin molempiin ajosuuntiin 500 metrin matkalta. Kuvassa 2 on esitetty Kotkan WIM-aseman pituusprofiilit molempiin ajosuuntiin. Vaaka sijaitsee kohdalla 250 metriä. Kuvassa 3 on esitetty vastaavasti Nakkilan WIM-aseman pituusprofiilit.



Kuva 2: PTM-autolla mitatut tien pituusprofiilit, Kotka.



Kuva 3: PTM-autolla mitatut tien pituusprofiilit, Nakkila.

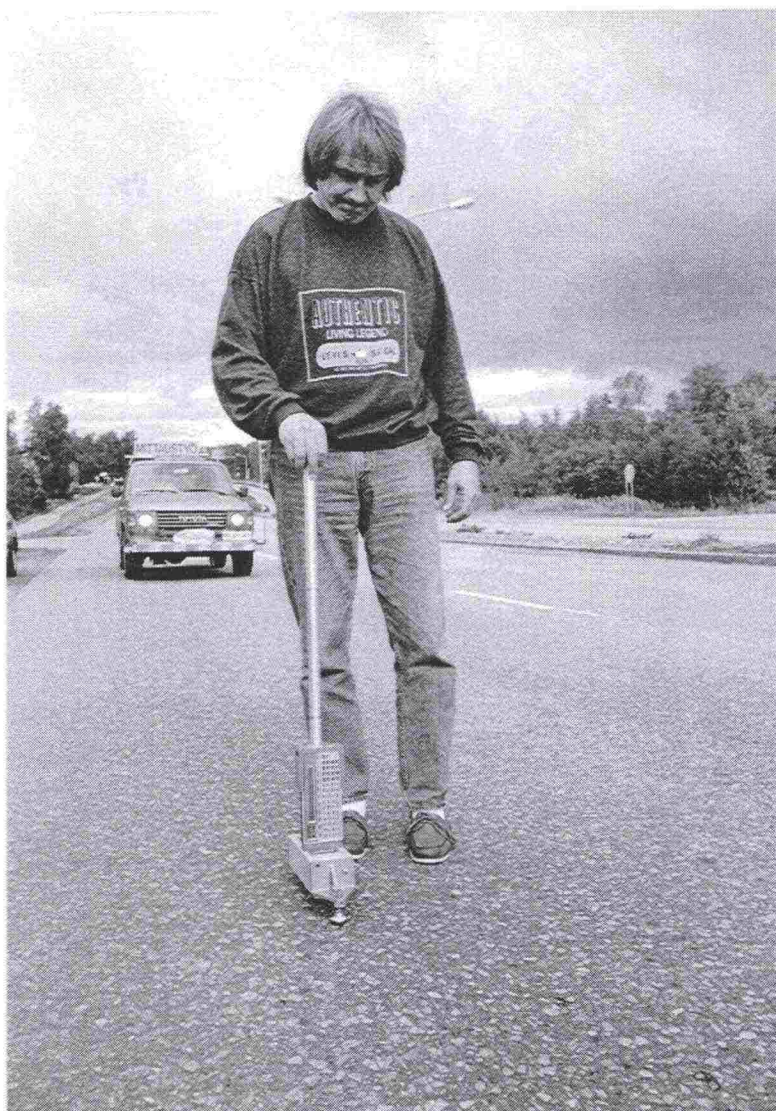
Vaaka-asemien kohdalla olevien teiden tasaisuuden (ajomukavuuden) selvittämiseksi PTM-autolla mitatuista pituusprofiileista laskettiin IRI-arvot (taulukko 1). Koska vaakalevyt aiheuttavat järjestään epäjatkuvuuskohdan tien pituusprofiiliin (poikkeuksena Kotkan suunta 2) on osuudet 200 - 300 metriä jätetty pois keskiarvosta (vaaka sijaitsee kaikilla kohteilla kohdalla 250 metriä). Kotkassa tien tasaisuus on suuntaan 1 hyvä ja suuntaan 2 tyydyttävä, Nakkilassa vastaavasti suuntaan 1 erittäin hyvä ja suuntaan 2 hyvä.

Taulukko 1: Teiden IRI-arvot vaaka-asemien läheisyydessä (vaaka kohdalla 250 m, keskiarvo väleiltä 0 - 200 ja 300 - 500 m).

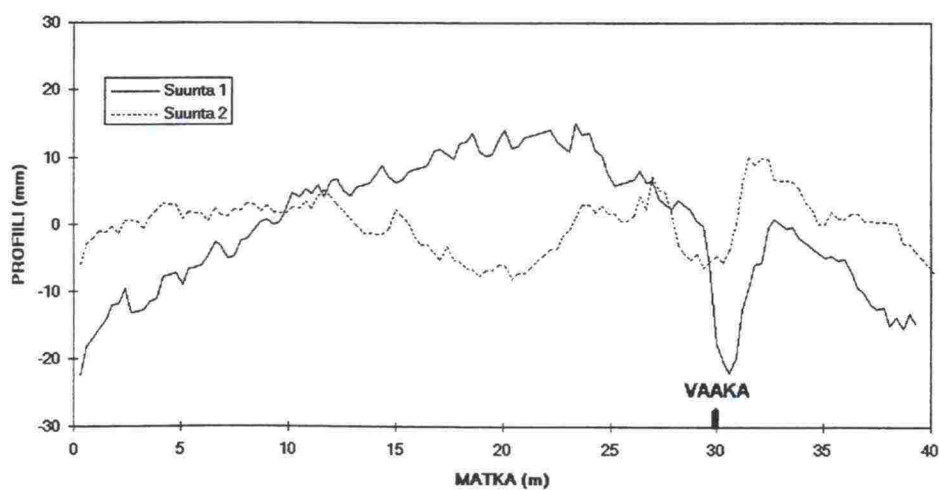
| MATKA (m) | KOTKA suunta 1 | KOTKA suunta 2 | NAKKILA suunta 1 | NAKKILA suunta 2 |
|-----------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 0 - 100 | 1,47 | 2,38 | 1,04 | 1,72 |
| 100 - 200 | 1,87 | 2,99 | 1,03 | 1,63 |
| 200 - 300 | 2,65 | 1,96 | 1,51 | 2,20 |
| 300 - 400 | 1,85 | 1,56 | 1,01 | 1,58 |
| 400 - 500 | 1,33 | 1,91 | 0,91 | 1,39 |
| KESKIARVO | 1,63 | 2,21 | 1,00 | 1,58 |

Pituusprofiilin sijainnin varmentamiseksi tehtiin pituusprofiilimittaukset myös VTT:n Dipstick-mittalaitteella (kuva 4). Dipstick Road Profiler on tien profiilin mittaamista varten kehitetty laite. Sillä pystytään mittaamaan profiili 30 cm:n välein. Laitteen toimintaperiaate perustuu siihen, että laitetta käännettään kahden jalkansa varassa pitkin mitattavaa profiilia ja kussakin asemassa laite määrittää kaltevuusasemansa. Kun jalkojen välinen etäisyys on 30 cm, voidaan kyseisen matkan aikana oleva korkeuden muutos laskea. Tämän jälkeen näiden 30 cm:n matkalla tapahtuneiden muutosten perusteella voidaan laskea koko haluttu pituusprofiili.

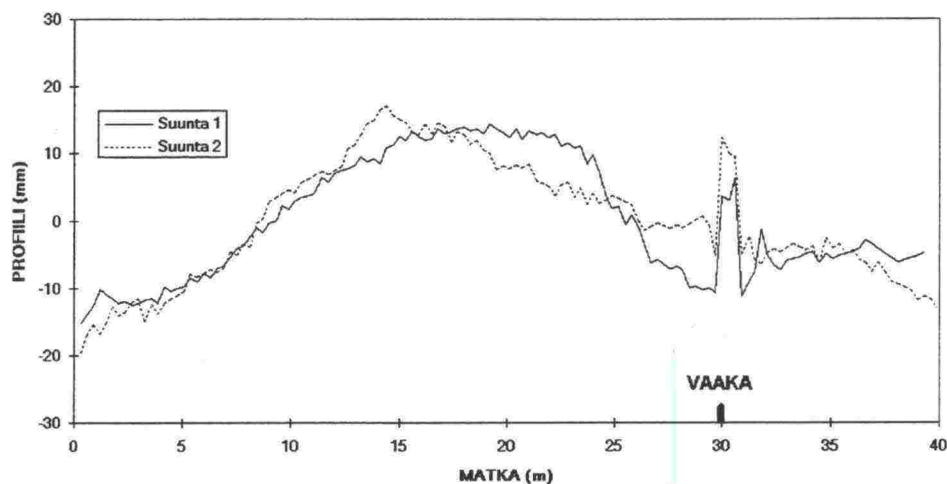
Dipstick-mittaukset tehtiin 40 metrin matkalta. Vaaka sijaitsee kohdalla 30 m. Kuvassa 5 on esitetty Kotkan WIM-aseman pituusprofiilit. Vaakalevy on ajosuuntaan 1 22 mm ja suuntaan 2 13 mm tienpinnan tasosta alhaalla. Nakkilan vaaka-aseman pituusprofiilit on esitetty kuvassa 6. Vaakalevy on kumpaankin ajosuuntaan mittattuna 16 mm tienpinnan tasosta ylhäällä. PTM-auton mittaussysteemi ei mahdollista yli 50 metrin aallonpituuksien mittamista. Dipstick-laitteella ei ole vastaavaa rajoitusta. Kuorma-autojen dynaamisiin akselipainoihin ei näin pitkillä aallonpituuksilla ole vaikutusta. Asiaa on selvitetty VTT:n aikaisemmissa tutkimuksissa /1/.



Kuva 4: Dipstick-laite.

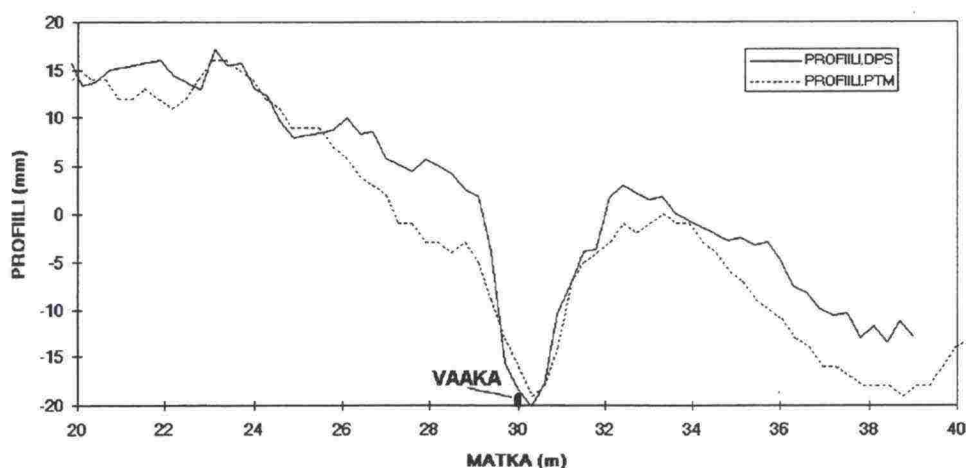


Kuva 5: Dipstickillä mitatut tien pituusprofiilit, Kotka.



Kuva 6: Dipstickillä mitatut tien pituusprofiilit, Nakkila.

Tietokone-simulointeja varten pitkät aallonpituudet poistettiin Dipstickin mittaustuloksista, jotka sovitettiin yhteen PTM-auton mitattujen pituusprofiilien kanssa. Kuvassa 7 on esimerkki pituusprofiilien yhteen sovittamisesta (Kotka, suunta 1).



Kuva 7: Dipstickillä ja PTM-autolla mitattujen pituusprofiilien yhteensovitus (Kotka, suunta 1).

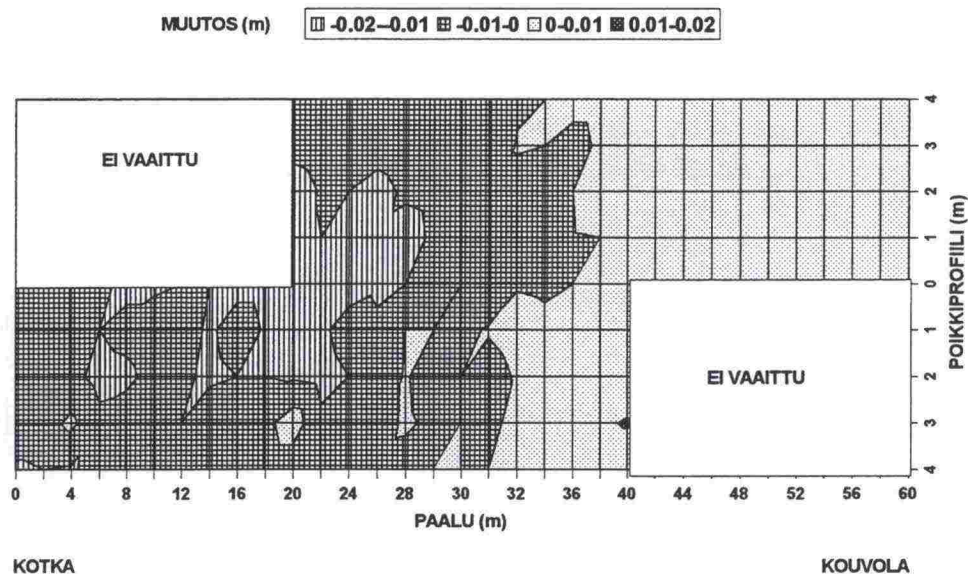
2.3 Vaaitus

Vaaka-asemien paikan valinnassa oli pyritty etsimään routimaton tiepenger. Nakkilan vaaka-asemalla vaakalevy ei ole pysynyt tienpinnan tasossa. On ollut epävarmaa aiheutuuko epätasaisuus vaakalevyä ympäröivän tien vai itse

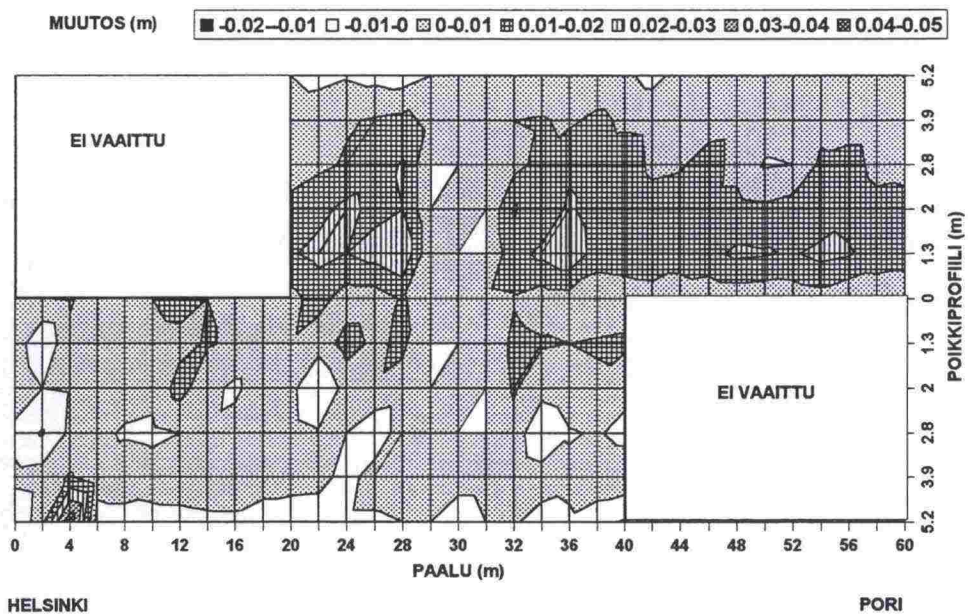
vaakalevyn liikkumisesta. Edellä mainitun ilmiön selvittämiseksi vaaittiin sekä Kotkan että Nakkilan WIM-asemia ympäröivä tienpinta keväällä ja loppukesällä. Tienpinta vaaittiin kummaltakin kaistalta 40 metrin matkalta vaakalevyn sijaitessa 30 metrin kohdalla. Tien poikkiprofiililla mittauspisteet sijaitsevat pientareella, pyöräurissa, pyöräurien välissä sekä ajoradan keskilinjalla. Vaaitukset sidottiin lähistöltä löytyviin kiintopisteisiin ja seurattiin tienpinnan liikkeitä niihin nähden. Lisäksi Nakkilan vaaka-asemalta oli käytettävissä syksyllä -93 tehty vaaitus, mutta sen kiintopiste ei ole tiedossa. Näin sen tuloksia voidaan käyttää vain tien eri kohtien keskinäiseen vertailuun.

Kuvassa 8 on esitetty Kotkan WIM-aseman kohdalta tienpinnan pystysuuntaiset muutokset aikavälillä 22.4. - 31.8.94. Siitä voidaan havaita, että tienpinta sekä vaakalevy ovat painuneet Kotkan suuntaan pääasiallisesti alle 10 mm (tumma alue) eli vaaka on liikkunut tienpinnan mukana. Keskilinjantuntumassa painuma on ollut välillä 10 - 20 mm (ohut pystyraidoitus). Kouvola-suunnassa tienpinta on pysynyt paikallaan tai kohonnut enintään 10 mm. Kohdassa 3 selostetun tietokonesimuloinnin perusteella edellä mainitun kokoiset painaumamat riittävät aiheuttamaan kuorma-autoon dynaamisia akselipainoja, jotka ovat eri suuruisia eri vuodenaikoina.

Vastaavasti kuvassa 9 on esitetty Nakkilan WIM-aseman kohdalta tienpinnan pystymuutokset aikavälillä 26.4. - 30.8.94. Vaakalevy on mittausten välillä pysynyt ympäröivää tienpintaa paremmin paikallaan (nousu alle 10 mm). Tienpinta sen sijaan on kauttaaltaan kohonnut vähintään 0 - 10 mm (vaalean harmaa alue) ja Helsingin suuntaan kaistan keskeltä 10 - 20 mm (tumma alue). Paikoin löytyy 20 - 30 mm kohoumia (ohut pystyraidoitus) ja paalulukeman 4 m kohdalta jopa 40 - 50 mm kohouma. Näin suurilla tienpinnan liikkeillä on selvä vaikutus kuorma-autojen dynaamisiin akselipainoihin.



Kuva 8: Kotkan vaaka-asemalla vaaitut tien pinnan pystyliikkeet ajalla 22.4. - 31.8.94, vaakalevy kohdalla 30 m.



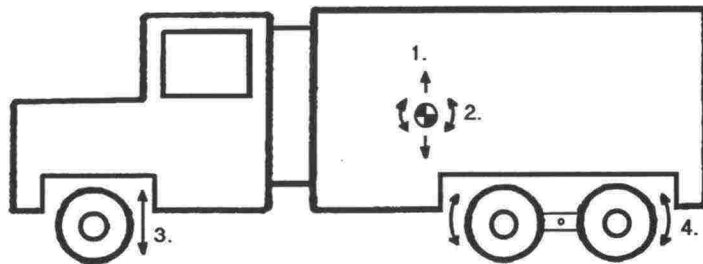
Kuva 9: Nakkilan vaaka-asemalla vaaitut tien pinnan pystyliikkeet ajalla 26.4. - 30.8.94, vaakalevy kohdalla 30 m.

3 DYNAAMISTEN AKSELIPAINOJEN SIMULOINTI

3.1 Kuorma-auton dynaamiset liikkeet

Tie on aina sen verran epätasainen, että hyvästäkin jousituksesta huolimatta autosta tiehen välittyvä akselipaino vaihtelee. Vaihtelu voi olla hyväksyttävälläkin tiellä jopa $\pm 20 \%$ eli 100 kN staattisen akselipainon asemasta todellinen dynaaminen akselipaino vaihtelee 80 ja 120 kN välillä.

Auto kokonaisuudessaan voi liikkua ylös/alas suunnassa (liike 1 kuvassa 10), se voi nyökkiä eli etu- ja takapää menevät eri tahdissa (liike 2), auton akseli voi pomppia (liike 3) ja teli voi keinua (liike 4). Jos tien epätasaisuuden aallonpituus on sama tai esim. kaksinkertainen auton akseliväliin verrattuna, auton liikkeet mutkistuvat ja esiintyy ns. akselivälisuodatus-ilmiö. Mikäli poikkisuuntaiset liikkeet otetaan myös mukaan, mutkistuvat liikkeet oleellisesti.



Kuva 10: Kuorma-auton liikkeet.

Tärkeimmät liikkeet ovat auton rungon pystyliike ja keinuminen (ominaistaajuus noin 1,5 - 3 Hz) sekä pyörän pomppiminen ja telin keinuminen, joiden ominaistaajuus on suurusluokaltaan 10 Hz. Edellä mainitut taajuudet vastaavat 80 km/h nopeudella ajettaessa 15 - 7 m ja 2,2 m aallonpituuksia. Molemmat edellä esitetyt taajuudet voidaan aina havaita, mutta niiden suhteet vaihtelevat akselittain ja tien epätasaisuuksien laadusta riippuvaisina. Yleensä alempi taajuus on suuruudeltaan merkittävämpi.

Mikäli sama auto ajaa samalla nopeudella samaa tietä pitkin, dynaamisesti vaihtelevat voimat kohdistuvat hyvin eli suurimmat voimat tulevat aina samalle kohdalle tietä eli kuormituksen toistuvuus on suuri. Koska kuorma-autoissa on erilaisia jousituksia, ajonopeudet vaihtelevat ja autojen akselivälit ovat eri suuruisia, kuormituksen toistuvuus ei ole todellisuudessa täydellinen. Nämä ilmiöt ovat olleet autoinsinöörien tiedossa jo pitkään, mutta vasta viimeaikoina niihin on alettu kiinnittää huomiota myös tieinsinöörien keskuudessa /2 - 5/.

3.2 Simulointimalli

Tietokonesimulointien tarkoituksena oli kehittyneitä tietotekniikkaa hyväksi käyttäen etsiä tietoa, minkälaisilla tienpinnan muokkaustoimilla voidaan vaikuttaa kuorma-autojen dynaamisia lisäkuormia vähentävästi. Simuloinnit tehtiin ADAMS-ohjelmistolla /6/, ja niissä käytettiin erittäin yksityiskohtaista kolmiakselista kuorma-automallia. Mallinnettu kuorma-auto oli varustettu paraabelijousitetulla iskunvaimentimin vaimennetulla etuakselilla. Taka-akselisto käsitti paraabelijousitetun nostotelistön, jonka molemmat akselit olivat paripyörällisiä. Myös taka-akselisto oli vaimennettu iskunvaimentimin. Ajonopeutena simuloinneissa käytettiin pääasiassa 80 km/h. Nopeuden vaikutusta tutkittiin lisäksi nopeuksilla 60, 70 ja 90 km/h.

Mitatuista pituusprofiileista malliin syötettiin noin 200 metrin osuus, jossa vaakalevy sijaitsee tarkalleen 180 metrin kohdalle. Näin voitiin olla varmoja, että tien epätasaisuudesta aiheutuvat dynaamiset akselipainot ehtivät kehittyä mallissa vaakalevylle saavuttaessa (yksittäinen epätasaisuus heijastuu jopa yli 50 metriä eteenpäin).

3.3 Pituusprofiilien muokkaus

Tietokonesimuloinnit jakautuivat kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kaikista mitatuista tien pituusprofiileista laskettiin ADAMS:lla kullekin mallin kolmelle akselille dynaamiset akselipainot. Näistä Nakkilan suunta 2 (Pori - Helsinki) valittiin tarkempaan profiilien muokkaukseen, sillä sen alkuperäisestä pituusprofiilista syntyivät selvät matalataajuiset dynaamiset akselipainot. Niistä aiheutuu yleensä suurimmat WIM:n mittaustarkkuuteen vaikuttavat tekijät.

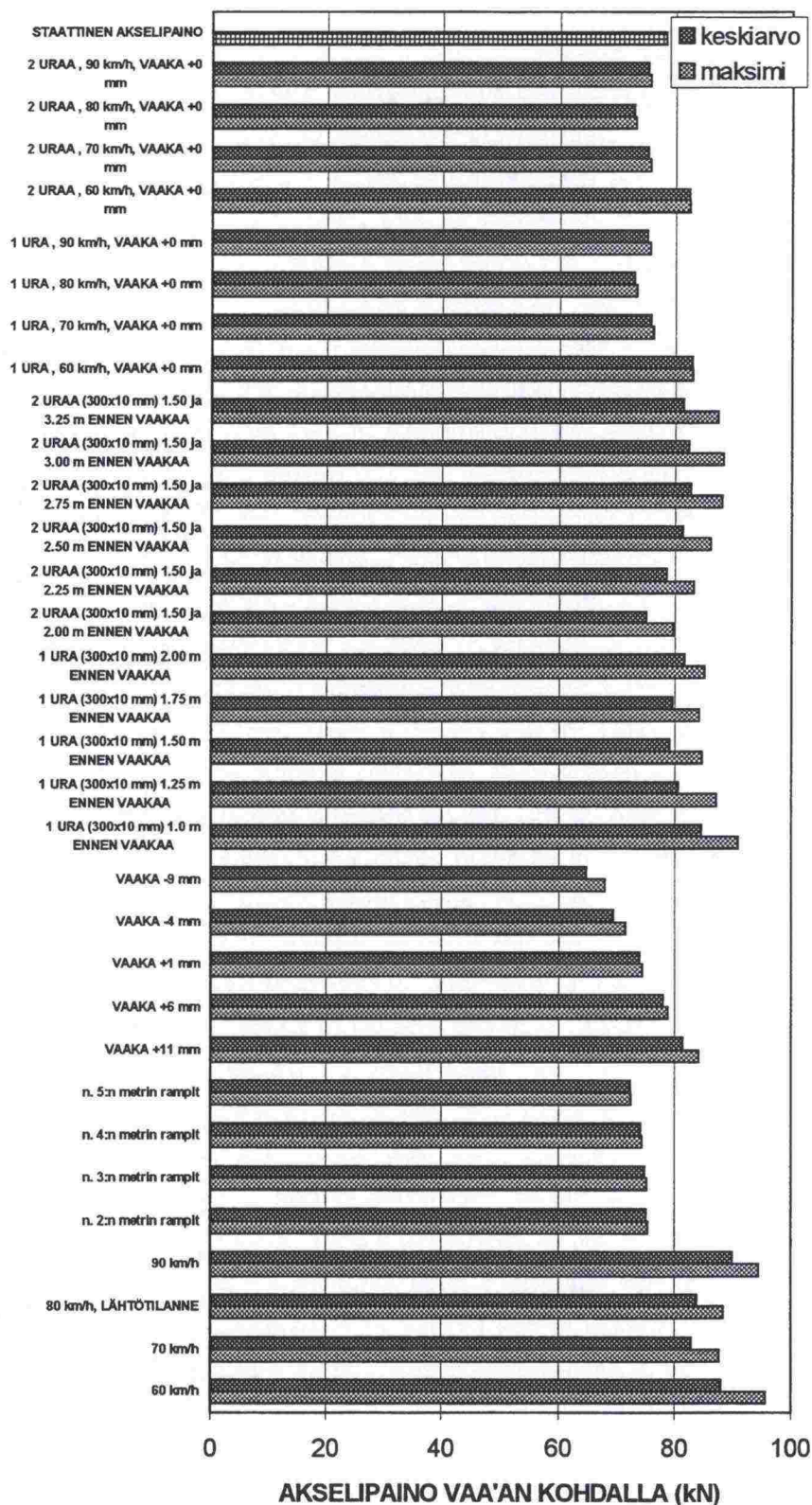
Toisessa vaiheessa pituusprofiilin muokkauksessa kokeiltiin tien poikki jyrstävän uran (syvyys 10 mm, pituus ajosuunnassa 300 mm) vaikutusta dynaamisten akselipainojen rajoittamiseksi WIM:n kohdalla (11 simulointia). Uran sijoittamisella eri etäisyyksille vaakalevystä haettiin optimaalista paikkaa yhdelle uralle. Toisen uran lisäämisellä testattiin, vahvistaako se ensimmäisen uran aikaansaamaa dynaamista akselipainoa. Lisäksi kokeiltiin 2 - 5 metrin ramppien lisäämistä koholla olevan vaakalevyn etu- ja takapuolelle (4 simulointia). Pituusprofiilien mittaushetkellä vaakalevy oli koholla 16 mm. Laske-malla vaakalevyä 5 mm portain tienpintaan nähden selvitettiin, kuinka suuri korkeusero vaakalevyn ja tienpinnan tason välillä on haitallinen WIM:n mittaustarkkuuteen (5 simulointia). Nopeuden vaikutuksen tutkimiseksi suoritettiin kolme simulointiajoa muokkaamattomalla tien profiililla.

Toisen vaiheen kokemusten perusteella kolmannessa vaiheessa vaakalevyn kohta tasoitettiin tienpinnan tasoon ja lisättiin sekä 10 metriä ennen vaakalevyä yksi ura (10x300 mm) että 10 ja 10,5 metriä ennen vaakalevyä kaksi uraa tien poikki. Näillä kahdella profiililla testattiin myös ajonopeuden vaikutusta nopeuksilla 60, 70 ja 90 km/h. Kaikkiaan simulointiajoja suoritettiin 35 kappaletta. Luettelo eri simulointivaihtoehdoista on esitetty liitteessä 2.

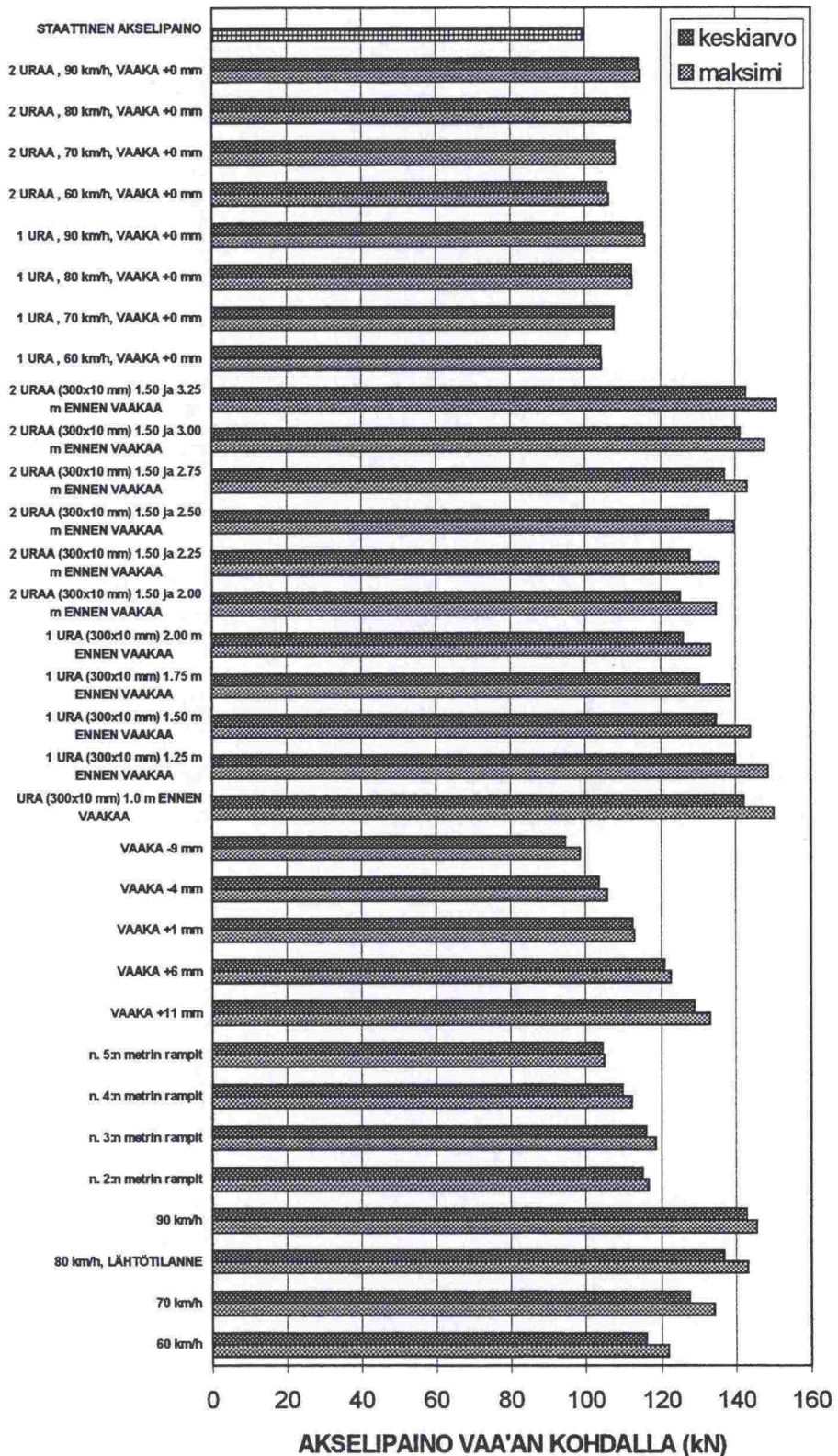
3.4 Simulointitulokset

Yhteenveto tien pituusprofiilin muokkauksen vaikutuksista dynaamisiin akselipainoihin WIM:n kohdalla kullakin akselilla on esitetty kuvissa 11 - 13. Niistä voidaan lukea sekä keski- että maksimiarvo pyörän ollessa kokonaan vaakalevyn päällä (± 15 cm levyn keskeltä). Mikäli keski- ja maksimiarvo poikkeavat selvästi toisistaan, on dynaaminen akselipaino muuttumassa pyörän liikkessa vaakalevyllä. Koholla olevassa (Nakkila) vaakalevyssä suurin dynaaminen akselipaino kohdistuu vaa'an edessä olevaan betonikehykseen ja se alkaa laskea pyörän saapuessa mittaavan levyn päälle (esimerkki kuvassa 14). Alhaalla olevassa vaakalevyssä (Kotka, suunta 1) pyörä "putoaa" vaa'an edessä olevalle betonikehykselle ja dynaaminen akselipaino alkaa kasvaa pyörän siirtyessä vaakalevylle.

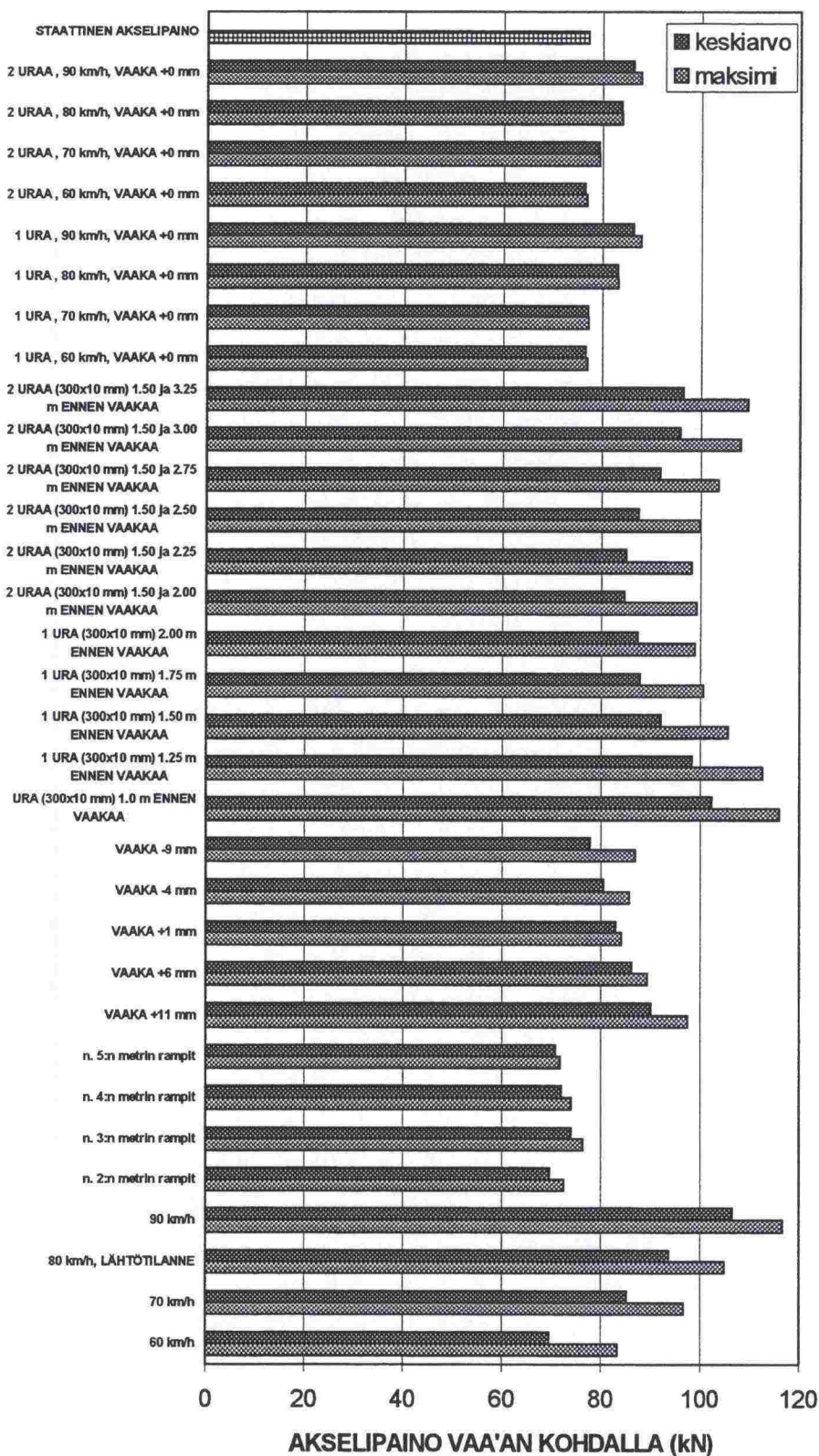
Punnittava akseli on vaakalevyllä erittäin lyhyen ajan (esimerkiksi nopeudella 80 km/h noin 15 ms). Tämän takia tiedonkeruusysteemin on oltava niin tehokas, että se kerkeää luotettavasti ottamaan useita havaintoja punnittavasta akselistä. Riittävä havaintojen lukumäärä mahdollistaa dynaamisen akselipainosignaalin muodon tunnistamisen vaakalevyn kohdalla. Sitä kautta on mahdollista havaita tienpinnan tasoon nähden liian koholla tai alhaalla oleva vaaka.



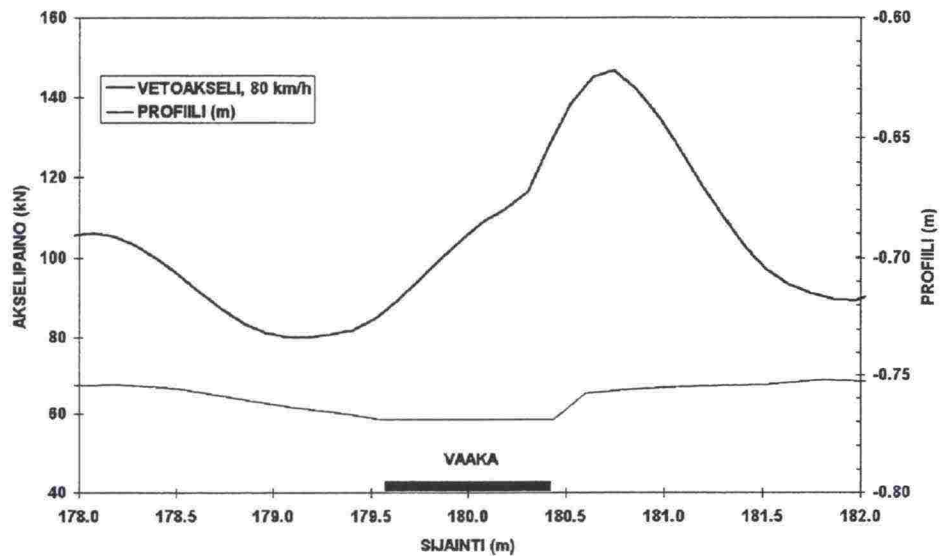
Kuva 11: Profiilin muokkauksen vaikutus simuloituihin dynaamisiin akselipainoihin, etuakseli (staattinen akselipaino 78 kN).



Kuva 12: Profiilin muokkauksen vaikutus simuloituihin dynaamisiin akselipainoihin, vetoakseli (staattinen akselipaino 100 kN).



Kuva 13: Profiilin muokkauksen vaikutus simuloituihin dynaamisiin akselipainoihin, teliakseli (staattinen akselipaino 77 kN).



Kuva 14: Dynaamisen akselipainon muutos vaa'an kohdalla (staattinen akselipaino 100 kN).

Taulukko 2: Simuloitujen akselipainojen staattiset arvot, keskimääräinen vaihteluväli 200 metrin matkalla sekä minimi- ja maksimi-arvot vaa'an kohdalla.

| PAIKKA | STAATTINEN AKSELIPAINO (kN) | VAIHTELU- VÄLI (kN) | MINIMIARVO WIM:N KOH- DALLA (kN) | MAKSIMIARVO WIM:N KOH- DALLA (kN) |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------|--|---|
| KOTKA suunta 1 | 78 | ± 10 | 64 | 101 |
| | 100 | ± 15 | 72 | 147 |
| | 77 | ± 10 | 50 | 152 |
| KOTKA suunta 2 | 78 | ± 10 | 60 | 94 |
| | 100 | ± 20 | 66 | 137 |
| | 77 | ± 20 | 41 | 113 |
| NAKKILA suunta 1 | 78 | ± 5 | 41 | 104 |
| | 100 | ± 10 | 51 | 149 |
| | 77 | ± 10 | 8 | 128 |
| NAKKILA suunta 2 | 78 | ± 10 | 40 | 94 |
| | 100 | ± 10 | 58 | 149 |
| | 77 | ± 10 | 11 | 124 |

Ensimmäisessä vaiheessa simuloituista akselipainoista voidaan nähdä minkä tasoisia dynaamisia akselipainoja kyseisillä tieosuuksilla esiintyy (liitteet 3 - 6). Edellä mainitut dynaamisten akselipainojen keskimääräiset vaihteluvälit ja WIM:n kohdalla olevat maksimiarvot on esitetty taulukossa 2 painoina ja taulukossa 3 prosentteina.

Taulukko 3: Simuloitujen akselipainojen staattiset arvot, keskimääräinen vaihteluväli 200 metrin matkalla sekä minimi- ja maksimi-arvot vaa'an kohdalla.

| PAIKKA | STAATTINEN AKSELIPAINO (kN) | VAIHTELU- VÄLI (%) | MINIMIARVO WM:N KOH- DALLA (%) | MAKSIMIARVO WM:N KOH- DALLA (%) |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| KOTKA suunta 1 | 78 | ± 13 | 82 | 129 |
| | 100 | ± 15 | 72 | 147 |
| | 77 | ± 13 | 65 | 197 |
| KOTKA suunta 2 | 78 | ± 13 | 77 | 121 |
| | 100 | ± 20 | 66 | 137 |
| | 77 | ± 26 | 53 | 147 |
| NAKKILA suunta 1 | 78 | ± 6 | 53 | 133 |
| | 100 | ± 10 | 51 | 149 |
| | 77 | ± 13 | 10 | 166 |
| NAKKILA suunta 2 | 78 | ± 13 | 51 | 121 |
| | 100 | ± 10 | 58 | 149 |
| | 77 | ± 13 | 14 | 161 |

Kotkan WIM-aseman dynaamiset akselipainosignaalit on esitetty liitteissä 3 ja 4. Molempiin ajosuuntiin tie on melko tasainen ($IRI = 1,6 - 2,2$). Suuntaan 1 vaakalevy on noin 22 mm tienpinnan tasosta alhaalla. Tästä syntyy heti vaa'an jälkeen suurehkoja dynaamisia akselipainoja etenkin teliakselille. Suunnassa 2 noin 100 metriä ennen vaakalevyä esiintyy paikallisia isohkoja dynaamisia akselipainoja. Syynä niiden syntymiseen on todennäköisesti uudelleen päällystämisen syntynyt sauma. Edellä mainitut akselipainot ehtivät kuitenkin vaimentua tien tasaisuuden takia ennen vaakalevyä.

Nakkilan WIM-asemalla tie oli varsinkin suuntaan 1 erittäin tasainen (IRI = 1,0 - 1,6) ja dynaamisen akselipainon vaihteluväli pysyi pienenä ennen vaakalevyä (liitteet 5 - 6). Molempiin ajosuuntiin vaakalevy on selvästi koholla, josta seuraa paikallisesti hyvin voimakkaita dynaamisia akselipainoja kaikilla akseleilla. Epätasaisuus on niin suuri, että teliakseli pomppaa lähes ilmaan (akselin staattisesta painosta vain 10-15 % kohdistuu tiehen).

Toisessa vaiheessa tutkittiin nopeuden muutoksen vaikutusta dynaamisiin akselipainoihin. Eri tyyppisiä kuorma-autoja voidaan jossain määrin simuloida mallin ajonopeutta muuttamalla. Sillä rungon ja akseleiden ominaistajuuDET pysyvät vakiona, ja vastaavat aallonpituudet seuraavat nopeuden muutosta. Tällöin voidaan olettaa, että jokin toinen kuorma-auto toimii alkuperäisellä nopeudella saman tapaisesti kuin käytetty malli muutetulla nopeudella. Etuakseli ei ole kovin herkkä nopeuden vaihteluille (kuva 11). Sen sijaan veto- ja teliakselit ovat erittäin herkkiä nopeuden vaihtelulle (kuvat 12 ja 13). Nopeuden lisääminen kasvattaa dynaamisia akselipainoja voimakkaasti. On ilmeistä, että teli keinuu voimakkaasti koholla olevalle vaakalevyllä tultaessa.

Keinotekoisten ramppien (2, 3, 4 ja 5 metriä vaa'an molemmin puolin) lisäämisellä tutkittiin, voidaanko pienillä korjaustoimenpiteillä parantaa WIM:n mittaustarkkuutta. Tämä menetelmä osoittautui melko hyväksi koholla olevan vaakalevyn kohdalla. Kaikkien akseleiden käyttäytyminen vaa'an kohdalla rauhoittui selvästi. Tienpinnan tasosta alhaalla olevan vaa'an korjaaminen näin on mahdotonta. Ramppia vastaavan notkon tekeminen näissä tapauksissa toimisi samaan suuntaan. Staattisiin akselipainoihin nähden oleva taasoero on mahdollisesti korjattavissa kalibroimalla vaa'at uudelleen. Ramppien pituus ei tunnu olevan kovin kriittinen tekijä. Sen sijaan epäjatkuvuuskohdan syntymistä tien pituusprofiiliin tulisi ensi sijaisesti välttää ramppoja tehtäessä.

Koholla (+ 16 mm) olevaa vaakalevyä laskettiin 5 mm:n portain tienpinnan tasoon ja aina 9 mm:n kuopalle asti. Näin haettiin rajoja, kuinka paljon vaakalevy saa liikkua tienpinnan tasoon nähden. Kaikilla akseleilla dynaamiset akselipainot pienenevät sitä enemmän, mitä alempana vaakalevy sijaitsee. Etuakselille hieman koholla oleva vaakalevy (+ 6 mm) antaa parhaan tuloksen. Taka-akseliston toiminta vaatii hieman alhaalla olevan (- 4 / -9 mm) vaa'an.

Simulointien perusteella näyttää siltä, että alle 5 mm poikkeamilla tienpinnan tason ja vaakalevyn välillä ei dynaamisiin akselipainoihin synny ylimääristä muutosta.

Vaakalevyn lähelle sijoitetuilla urilla pyrittiin muuttamaan dynaamisen akselipainon vaihe sopivaksi pyörän tullessa vaakalevyllä. Kaikissa tapauksissa koholla olevan vaakalevyn etureuna kuitenkin eliminoi poikittaisten urien

vaikutuksen. Tämä ilmenee suurena erona vaakalevyn kohdalla olevan maksimi- ja keskiarvon välillä.

Kolmannessa vaiheessa pyrittiin riittävän kaukana ennen vaakalevyä sijaitsevalla yhdellä (10 metriä ennen vaakaa) tai kahdella (10,5 ja 10 metriä ennen vaakaa) uralla saamaan aikaan selvä heräte dynaamisiin akselipainoihin. Niiden oli sitten tarkoitus vaimentua tienpinnan tasoon tasoitetulle vaakalevyille tultaessa. Ilmeni kuitenkin, ettei tuntuvista herätteistä huolimatta yksi/kaksi uraa riitä poistamaan rungon pystyliikettä kuorma-autosta. Suurimpana syynä tähän oli se, että eri akselit tulivat toisistaan poikkeavissa vaiheissa uran kohdalle. Olisikin välttämätöntä peräkkäisillä epätasaisuuksilla ensin pakottaa dynaamiset akselipainot tiettyyn vaiheeseen ja sitten sammuttaa ne hallitusti. Tällainen korjaustoimenpide on ongelmallinen, koska tarvittavien epätasaisuuksien tekeminen käytännössä voi olla mahdotonta. On myös otettava huomioon, ettei ajomukavuutta voida kohtuuttomasti huonontaa.

Kaiken kaikkiaan tietokonesimulointien anti oli hyvä. Selvästikin pienilläkin profiilin muutoksilla on suuri vaikutus dynaamisiin akselipainoihin (huomaa kuvien 11 - 13 esittämä suuri vaihtelu). Riittävän pitkältä matkalta (vähintään 100 metriä) ennen vaakaa hyvin tasainen tie on paras tae hyvään mittaustarkkuuteen pääsemiseksi. Vaa'an asentaminen pitkiä aallonpituuksia dynaamisiin akselipainoihin aiheuttavan epätasaisuuden (vrt. rampit) harjalle parantaa mahdollisuutta parempaan mittaustarkkuuteen.

4 STAATTINEN JA WIM-PUNNITUS

4.1 Staattinen punnitus

Kotkassa käytettiin tiepiirin Evocar 15T-vaakoja. Vaakoja oli kaikkiaan kuusi kappaletta, joten saman aikaisesti oli mahdollista punnita kolme akselia. Nakkilassa oli käytössä Turun Liikkuvan Poliisin käytössä olevat CheckPointin Tray Scale-vaat. Edellä mainittuja oli vain kaksi, joten punnitus suoritettiin akseli kerrallaan. Teleissä käytettiin saman aikaisesti korotuslevyjä mittausrvirheiden välttämiseksi. Edellä mainittu vaaka tulostaa kolme erillistä punnitustulosta:

1. Ei korjausta
2. punnituspaikan mukainen korjaus
3. metoditoleranssi-korjaus

Osasta punnittuja ajoneuvoja oli saatavissa esim. tehtaan vaakatodistus, joiden perusteella 2. tulos valittiin vertailuun staattiseksi punnitustulokseksi.

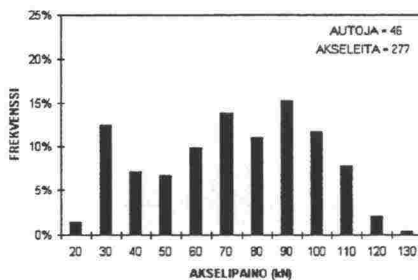
Staattiset punnitukset suoritti piirien henkilökunta, Nakkilassa oli mukana lisäksi Turun Liikkuvan Poliisin edustaja. Punnituspaikoiksi pyrittiin valitsemaan vaaka-aseman jälkeen välittömässä läheisyydessä olevat taukopaikat, joille liikenteestä poimittiin raskaita ajoneuvoja punnittaviksi. Vaaka-asemalla valittiin punnittava ajoneuvo ja tieto välitettiin radio- tai NMT-puhelimilla pysäytyspaikalle. Kotkassa suuntaan 1 pysäytyspaikka sijaitsi noin 300 metriä ennen vaaka-asemaa. Raskailla ajoneuvoilla nopeuden nostaminen 80 km/h osoittautui vaikeaksi tai mahdottomaksi näin lyhyellä matkalla.

Punnittujen autojen lukumäärä ja jakautuminen tyyppeihin kuorma-auto, puoliperävaunullinen kuorma-auto ja täysperävaunullinen kuorma-auto on esitetty taulukossa 4. Siitä voidaan havaita, että Kotkassa ajoneuvoja saatiin pysäytetyksi huomattavasti enemmän kuin Nakkilassa. Nakkilassa tähän vaikuttivat sekä hitaahko staattinen punnitus että raskaan liikenteen Kotkaa vähäisempi määrä. Molemmat vaaka-asemat sijaitsevat taajamien ulkopuolella. Tämän seurauksena perävaunuttomia kuorma-autoja oli vähän raskaassa liikenteessä. Kotkan vaaka-asema sijaitsee Myllykosken paperitehtaan ja Haminan sataman välissä. Näiden välinen liikenne kasvatti selvästi täysperävaunullisten ajoneuvojen osuutta.

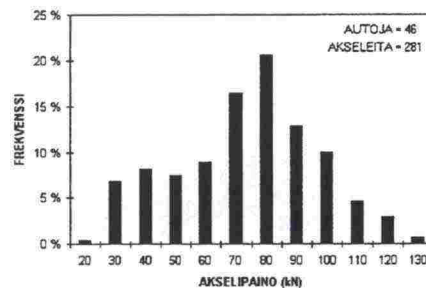
Taulukko 4: Punnittujen ajoneuvojen lukumäärät.

| PAIKKA | KUORMA-AUTOJA | PUOLIPERÄV. KUORMA-AUTOJA | TÄYSPERÄV. KUORMA-AUTOJA | YHTEENSÄ |
|------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| KOTKA suunta 1 | 3 | 3 | 40 | 46 |
| KOTKA suunta 2 | - | 12 | 34 | 46 |
| NAKKILA suunta 1 | - | 8 | 18 | 26 |
| NAKKILA suunta 2 | - | 11 | 12 | 23 |

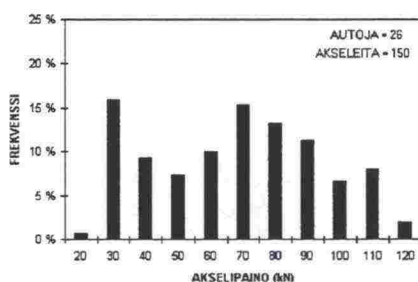
Punnittujen akselipainojen jakaumat Kotkassa (suunta 1 ja 2) on esitetty kuvissa 15 ja 16 sekä Nakkilassa kuvissa 17 ja 18. Tielaitoksen tavarakuljetustilastojen (liite 7) mukaisesti ryhmitellyt kokonaispainot on esitetty taulukossa 5. Taulukkoon on lisätty tyypit 22,5, 26,5 ja 30. Tyypit 22,5 ja 30 vastaavat muuten tyyppejä 22 ja 29, mutta perävaunussa on yksi etuakseli ja kolme taka-akselia. Tyyppi 26,5 vastaa muuten tyyppiä 27, mutta perävaunu on kaksiakselinen. Kotkassa akselipainot osoittavat, että punnitut ajoneuvot ovat pääsääntöisesti kuormattuja. Nakkilassa suuntaan 2 oli huomattava määrä tyhjänä ajavia ajoneuvoja huolimatta siitä, että pyrittiin välttämään tyhjiä ajoneuvojen pysäyttämistä.



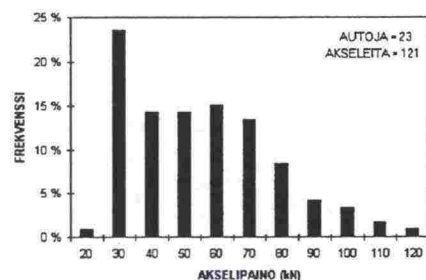
Kuva 15: Akselipainojen jakauma (Kotka, suunta 1).



Kuva 16: Akselipainojen jakauma (Kotka, suunta 2).



Kuva 17: Akselipainojen jakauma (Nakkila, suunta 1).



Kuva 18: Akselipainojen jakauma (Nakkila, suunta 2).

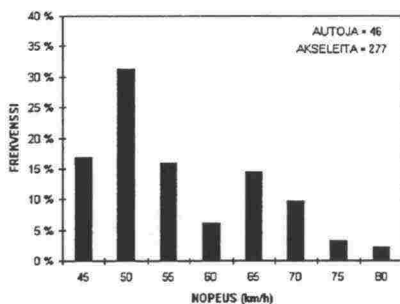
Staattisten punnitusten yhteydessä VTT:n edustaja keräsi pysäytetyistä ajoneuvoista erilaista tietoa, jotta voitaisiin erotella niitä vaaka-asemien mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä, jotka aiheutuvat itse punnittavista ajoneuvoista. Kerättävät tiedot käsittivät esim. ajoneuvojen ja perävaunun tyypin, akselien lukumäärän, akselistotyyppit, jousituksen jne.

Taulukko 5: Punnittujen ajoneuvojen keskimääräiset kokonaispainot ajoneuvotyypeittäin (vrt. TIEL:n luokitus liitteessä 7).

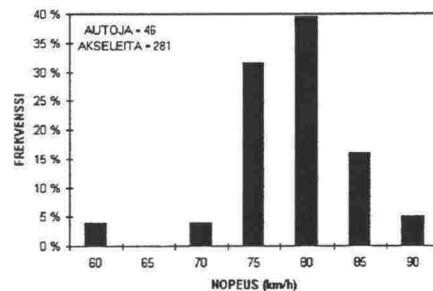
| KOKONAISPAINOT (KN) | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| AJONEUVOTYYPPI | KOTKA Suunta 1 | KOTKA Suunta 2 | NAKKILA Suunta 1 | NAKKILA Suunta 2 |
| 1 | 82 | - | - | - |
| 2 | 147 | - | - | - |
| 3 | 234 | - | - | - |
| 5 | - | 129 | - | - |
| 8 | - | 352 | 188 | 333 |
| 10 | 336 | 192 | 192 | 262 |
| 11 | - | 310 | 421 | 367 |
| 12 | 349 | 246 | 249 | 254 |
| 16 | 166 | 249 | | 207 |
| 19 | 210 | - | 288 | 171 |
| 20 | 422 | 452 | 303 | 218 |
| 21 | 204 | 359 | 396 | 193 |
| 22 | 458 | 517 | 439 | 211 |
| 22,5 | 289 | 516 | 483 | 364 |
| 23 | 513 | - | - | - |
| 24 | 589 | 379 | 579 | - |
| 25 | - | - | - | 179 |
| 26,5 | 501 | - | - | - |
| 27 | 410 | 333 | 197 | - |
| 28 | 619 | 579 | - | 210 |
| 29 | 615 | - | - | - |
| 30 | 201 | - | - | - |
| KESKIARVO | 399 | 414 | 358 | 255 |

4.2 Punnitus automaattivaa'alla

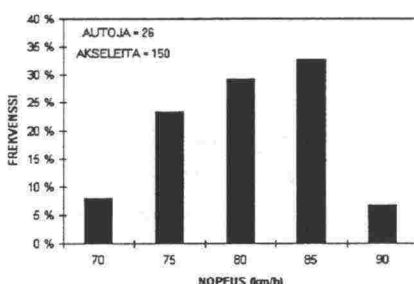
Tutkimuksessa mukana olleet automaattivaa'at on varustettu suomalaisilla EVOROAD vaa'illa. Vaa'at ovat tyypiltään levyvaa'koja, jotka asennetaan tiehen betonielementin osana. Periaatekuva vaa'asta on esitetty liitteessä 8.



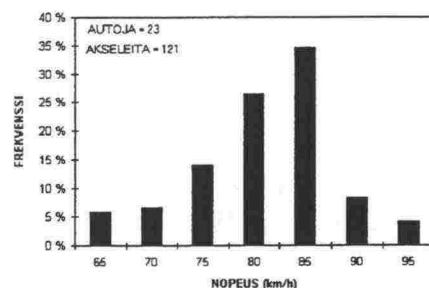
Kuva 19: Ajoneuvojen nopeusjakauma (Kotka, suunta 1).



Kuva 20: Ajoneuvojen nopeusjakauma (Kotka, suunta 2).



Kuva 21: Ajoneuvojen nopeusjakauma (Nakkila, suunta 1).



Kuva 22: Ajoneuvojen nopeusjakauma (Nakkila, suunta 2).

Staattisesti punnituista raskaista ajoneuvoista rekisteröitiin myös automaattivaa'an antama punnitustulos. Tämän lisäksi ajoneuvon nopeus rekisteröitiin. Ajoneuvojen jakautuminen Kotkassa (suunta 1 ja 2) on esitetty kuvissa 19 ja 20. Suunnan 1 nopeudet poikkeavat selvästi maantienopeuksista. Pysäytyspaikka staattisia punnituksia varten sijaitsi liian lähellä eikä sieltä lähdettäessä ollut mahdollista enää saavuttaa normaalia ajoneuvoa. Nakkilassa rekisteröidyt ajoneuvot on esitetty kuvissa 21 ja 22. Ajoneuvot noudattavat hyvin normaalin maantieliikenteen nopeuksia.

4.3 Tarkkuusvaatimukset ja punnitustulosten vertailu

Automaattivaa'an antaman punnitustuloksen tarkkuudella on suuri merkitys vaa'an käyttötarkoitusta määritettäessä. Parhaimmillaan tarkkuus täyttää viranomaisten vaatimukset painorajoitusten valvonnassa. NykYTEknikka edellyttää kuitenkin hidasta ajoneuvoa (noin 5 km/h). Huonoimmillaan voidaan vain erotella raskaiden ajoneuvojen osuus liikenteestä.

Eurooppalaisen tiede- ja tutkimusyhteistyöelimen COST:n alaisuudessa toimii ajoneuvojen nopeaa punnituista tutkiva ryhmä (COST-323). Ryhmälle on esitetty ehdotus (toistaiseksi käsittelemätön) automaattivaakojen luokittelusta

eri käyttötarkoituksiin. Ehdotuksen mukaan vaa'at voidaan jakaa viiteen luokkaan, joissa tarkkuus riittää seuraaviin tarkoituksiin:

- Luokka A: Kuorman punnitseminen ja lainsäädännön asettamien painorajoitusten valvonta.
- Luokka B: Yksityiskohtainen tieto liikenteestä (akseli-, akseliryhmä- ja kokonaispainot).
- Luokka C: Tarkahkot histogrammit (10 - 20 kN) käytetyistä painoista.
- Luokka D: Karkeat histogrammit (50 - 100 kN) käytetyistä painoista.
- Luokka E: Keveiden ja raskaiden ajoneuvojen erottelu.

Yllä mainittu COST-323:n ehdotus asettaa eri luokille tarkkuusrajat punnituksessa. Ehdotus on toistaiseksi tulkinnanvarainen sen suhteen, kuinka vertailuaineistoa tulisi tilastollisesti käsitellä. Tästä syystä on vaakojen tarkkuusluokkia laskettu kahta eri tapaa käyttäen.

Tapa 1: WIM-punnituksen ja referenssipunnituksen havainnoista laskettujen suhteellisten virheiden tulee asettua 90 % luottamustasolla annettujen rajojen sisään. Tämän tavan vaatimuksena on riittävä havaintoaineisto sekä, että ne ovat normaalisti jakautuneet ja keskenään vertailukelpoiset.

Tapa 2: 90 % havainnoista tulee asettua mainittujen rajojen sisään. Tällöin lasketaan yksinkertaisesti kunkin luokan vaatimukset täyttävien havaintojen osuus koko aineistosta ja estimoidaan 90 % osuuden ylittävien havaintojen luokka.

Luokkien A - D tarkkuusrajat on esitetty taulukossa 6. Ehdotus sisältää myös vaatimukset automaattivaakojen luotettavuudelle eri luokissa. Mainittu ehdotus on esitetty liitteessä 9.

Taulukko 6: COST-323:n ehdotus automaattivaakojen tarkkuusvaatimuksista eri luokissa.

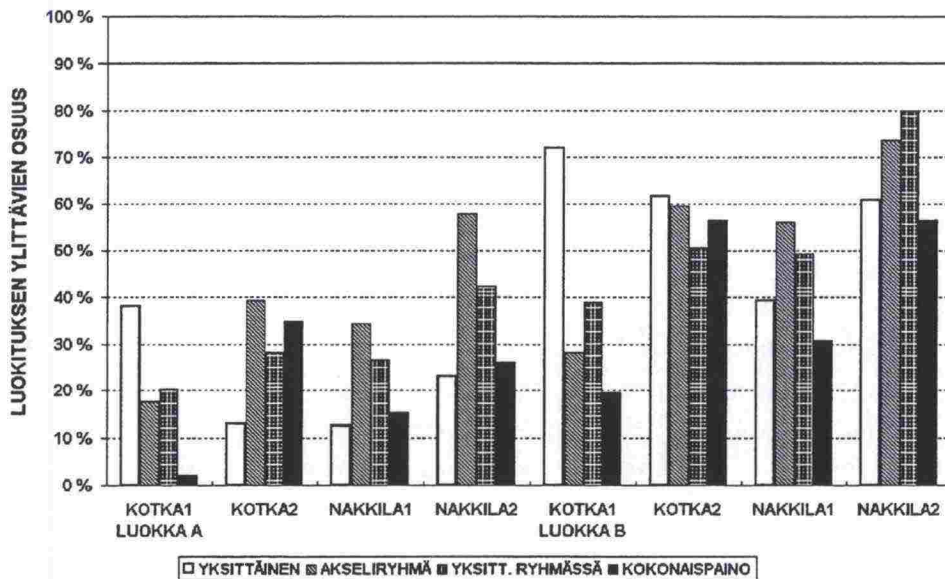
| MITATTU YKSIKKÖ | LUOKKA A | LUOKKA B | LUOKKA C | LUOKKA D |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Yksittäinen akselipaino | ± 5 % | ± 15 % | ± 20 % | ± 30 % |
| Akseliryhmän paino | ± 8 % | ± 13 % | ± 18 % | ± 28 % |
| Yksittäisen akselin paino akseliryhmässä | ± 10 % | ± 20 % | ± 25 % | ± 35 % |
| Kokonaispaino | ± 5 % | ± 10 % | ± 15 % | ± 25 % |

Staattisesti ja automaattivaaoilla punnituista ajoneuvoista sekä niiden yksittäisistä akseleista ja akseliryhmistä laskettiin COST-323:n ehdotuksen mukaisesti vertailuhavaintojen suhteelliset virheet 90 % luottamusvälillä eli tavalla 1 (oletettu, että punnitustulokset ovat riippumattomia ajonopeudesta, painosta ja ajoneuvon parametreista sekä normaalisti jakautuneita). Tulokset on esitetty taulukossa 7. Niistä havaitaan, että vain luokan D vaatimukset täyttyvät tietyiltä kohdin. Kotkassa yksittäisen akselin sekä kokonaispainon punnitus on D-luokan rajan tuntumassa. Teliakseliston punnitus sen sijaan on ongelmallista. Suunnan 1 tuloksiin on kuitenkin syytä suhtautua varauksin, sillä ajonopeudet olivat selvästi maantienopeuksia alhaisemmat (vrt. kuva 19). Nakkilassa suunta 1 jää selvästi (20 - 40 %-yks.) luokan D vaatimuksista. Suunnan 2 vaaka osoittaisi antavan parhaan tuloksen, sillä luokan D vaatimukset täyttyvät lähes kaikilta osin. On kuitenkin otettava huomioon, että Nakkilassa suuntaan 2 punnittujen ajoneuvojen painot olivat selvästi alhaisemmat kuin muilla kohteilla (vrt. kuva 18 ja taulukko 5). Tämän seurauksena useissa ajoneuvoissa (15 kpl) oli ylös nostettuja teliakseleita ja normaalisti akseliryhmään kuuluva akseli (telin alhaalla oleva akseli) on otettu huomioon yksittäisenä akselina.

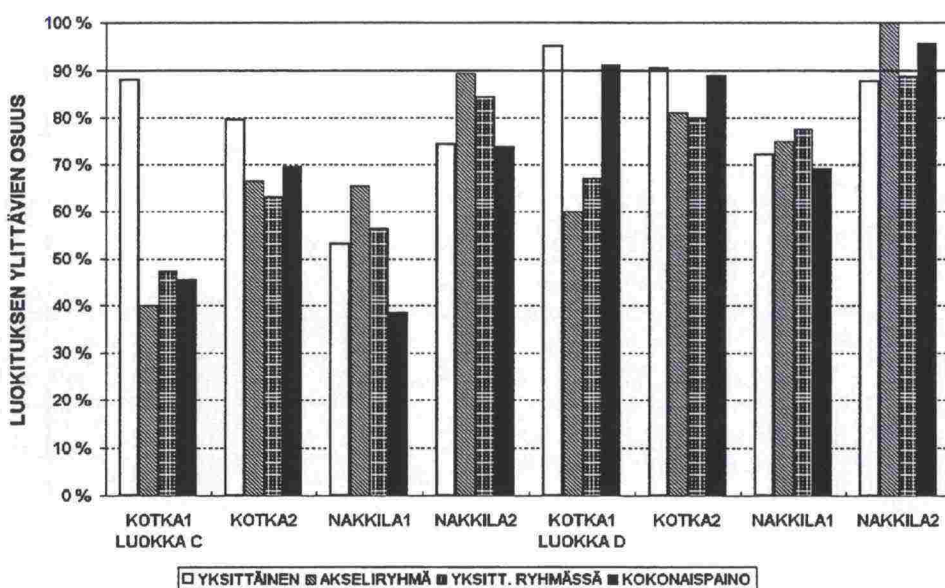
Taulukko 7: Vaaka-asemien vertailupunnituksista tavalla 1 lasketut automaattivaan suhteelliset virheet keskimäärin sekä luokka COST-323:n ehdotuksen mukaan (suluissa).

| MITATTU YKSIKKÖ | KOTKA suunta 1 | KOTKA suunta 2 | NAKKILA suunta 1 | NAKKILA suunta 2 |
|--|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Yksittäinen akselipaino | 25 % (D) | 34 % (E) | 60 % (E) | 38 % (E) |
| Akseliryhmän paino | 63 % (E) | 46 % (E) | 50 % (E) | 22 % (D) |
| Yksittäisen akselin paino akseliryhmässä | 91 % (E) | 55 % (E) | 59 % (E) | 41 % (E) |
| Kokonaispaino | 31 % (E) | 28 % (E) | 46 % (E) | 23 % (D) |

Laskemalla tavalla 2 kunkin luokan vaatimukset täyttävien havaintojen osuus aineistosta saadaan hyvin samansuuntainen lopputulos. Luokan A ja B tarkkuusrajan sisään mahtuvien havaintojen osuus aineistosta on esitetty kuvassa 23 sekä luokan C ja D kuvassa 24.



Kuva 23: Luokkien A ja B ehdot täyttävien punnitushavaintojen osuus (laskentatapa 2).



Kuva 24: Luokkien C ja D ehdot täyttävien punnitushavaintojen osuus (laskentatapa 2).

Kerätyistä punnitustuloksista ilmeni, että kaikissa vertailukohteissa staattiseen punnitukseen verrattuna automaattivaa'alla punnituksen suhteelliset virheet ovat keskimäärin tietyllä määrällä liian suuria tai pieniä. Kunkin kohteen automaattivaa'alla punnituksen havainnot staattisen punnituksen suhteen on esitetty liitteiden 10 - 13 kuvissa. Niistä lasketut keskimääräiset arvot on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8: Vaaka-asemien vertailupunnituksista lasketut automaattivaa'an suhteelliset virheet keskimäärin.

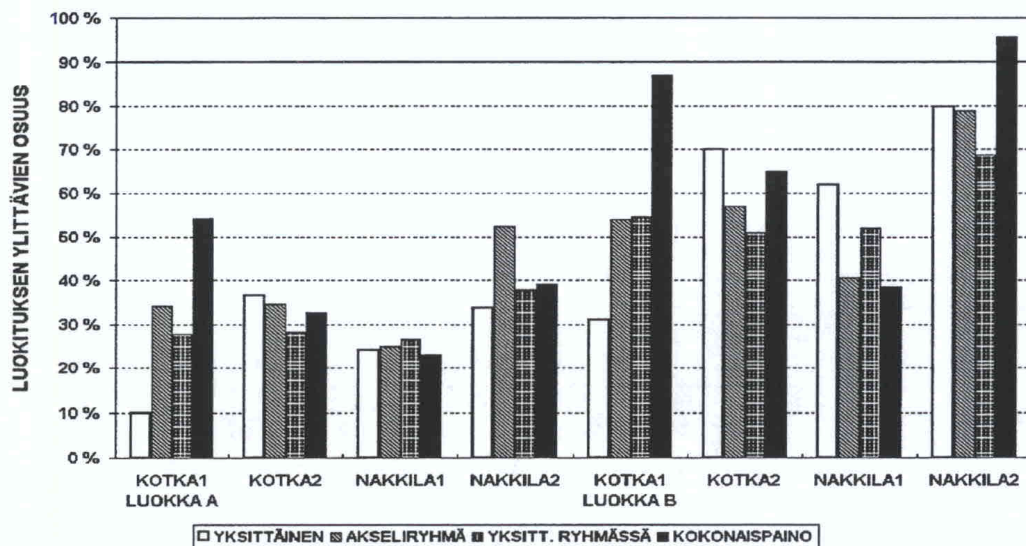
| MITATTU YKSIKKÖ | KOTKA suunta 1 | KOTKA suunta 2 | NAKKILA suunta 1 | NAKKILA suunta 2 |
|--|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Yksittäinen akselipaino | - 1 % | - 9 % | 21 % | 13 % |
| Akseliryhmän paino | 27 % | - 12 % | 14 % | 6 % |
| Yksittäisen akselin paino akseliryhmässä | 29 % | - 11 % | 14 % | 6 % |
| Kokonaispaino | 16 % | - 10 % | 18 % | 10 % |
| KESKIARVO | 18 % | -11 % | 17 % | 9 % |

Edellä esitetyn perusteella näyttää siltä, että vaakojen kalibrointi ei ole aivan kohdallaan. Vertailupunnituksen havaintoja korjattiin taulukon 8 keskiarvoilla, jolloin suhteellisten virheiden keskimääräiset arvot asettuvat mahdollisimman lähelle nollaa (esim. Kotkan suunta 1:n havaintojen arvoja siirrettiin 18 %-yks. alemmas). Kaikissa tapauksissa varsinkin kokonaispainon punnitustarkkuus parani selvästi. Korjauksen jälkeen lasketut suhteellisten virheiden keskimääräiset arvot 90 % luottamusvälillä on esitetty taulukossa 9.

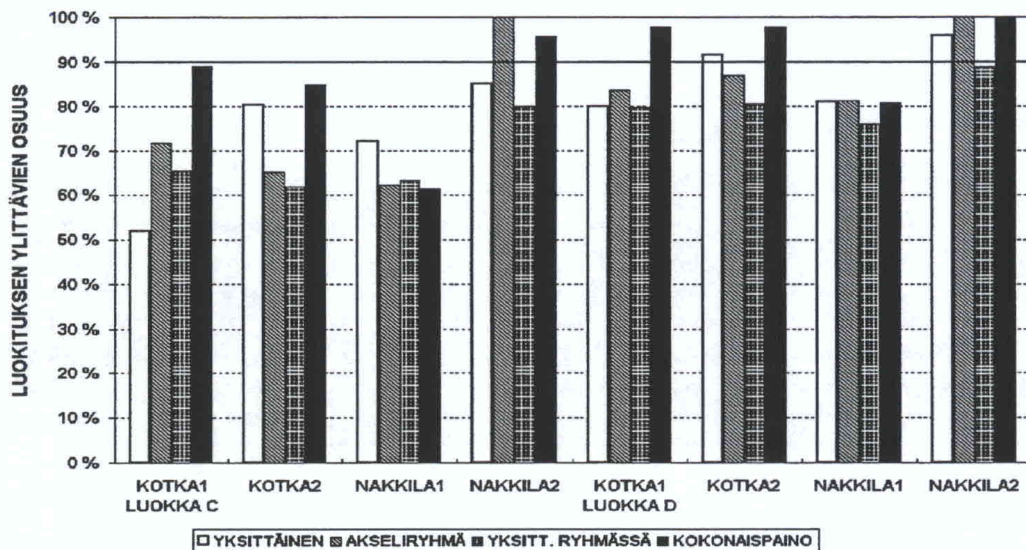
Taulukko 9: Vaaka-asemien vertailupunnituksista tasokorjauksen jälkeen tavalla 1 lasketut automaattivaa'an suhteelliset virheet keskimäärin sekä luokka COST-323:n ehdotuksen mukaan (suluissa).

| MITATTU YKSIKKÖ | KOTKA suunta 1 | KOTKA suunta 2 | NAKKILA suunta 1 | NAKKILA suunta 2 |
|--|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Yksittäinen akselipaino | 43 % (E) | 27 % (D) | 44 % (E) | 29 % (D) |
| Akseliryhmän paino | 45 % (E) | 35 % (E) | 39 % (E) | 19 % (D) |
| Yksittäisen akselin paino akseliryhmässä | 74 % (E) | 45 % (E) | 47 % (E) | 39 % (E) |
| Kokonaispaino | 17 % (D) | 18 % (D) | 29 % (E) | 14 % (C) |

Korjauksen jälkeen eri luokkiin mahtuvien punnitushavaintojen osuudet on esitetty kuvissa 25 ja 26. Edelleen voidaan todeta tulosten olevan saman suuntaisia kuin tavalla 1 laskettuna.



Kuva 25: Luokkien A ja B ehdot täyttävien punnitushavaintojen osuus tasokorjauksen jälkeen (laskentatapa 2).



Kuva 26: Luokkien C ja D ehdot täyttävien punnitushavaintojen osuus tasokorjauksen jälkeen (laskentatapa 2).

Molemmilla tavoilla laskettuna, mihin COST-323 ehdotuksen luokkaan vaaka kuuluu, saadaan hyvin samansuuntainen lopputulos. Tilastotieteellisesti tapa 1 on kuitenkin perustellumpi, kun huolehditaan havaintoaineiston soveltuvuudesta tilastolliseen käsittelyyn.

Eräissä järjestelmissä automaattivaakojen kalibrointi on toteutettu siten, että tietyn tyyppisten kuorma-autojen etuakselipainoa seuraamalla voidaan jatkuvasti korjata vaa'an asetuksia. Tämä on välttämätöntä järjestelmissä, missä punnitus perustuu olosuhteille (esim. lämpötila) herkkien antureiden käyttöön, tyypillisesti esim. pietsokaapelit. Levyvaa'an pitäisi periaatteessa mitata tarkasti olosuhdetekijöistä huolimatta, kun se on kalibroitu. On kuitenkin ilmeistä, että muutokset esim. tien pituusprofiilissa aiheuttavat tarpeen uusia vaa'an kalibrointi tietyin väliajoin.

Mikäli vaaka-aseman ohittava liikenne on homogeenista, olisi syytä seurata esim. juuri tyypillisimmän ajoneuvon etuakselipainon kehitystä ja käyttää saatua tietoa uudelleen kalibrointiin. Tässä tutkimuksessa mukana ollut punnitusvertailuaineisto osoittaa, että ainakin Kotkassa suuri osa raskaasta liikenteestä on täysperävaunuyhdistelmiä. Niiden käyttämistä kalibroinnissa on kuitenkin toistaiseksi vaikea arvioida kerätyn aineiston vähyyden takia. Toisaalta mikäli tiedetään vuodenaikavaihtelun aiheuttavan muutoksia tien profiiliin, kuten Nakkilassa, voidaan vaa'an kalibrointiajankohta sovittaa sen mukaan.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Nopeaan akselipainopunnitukseen tarkoitettujen vaakojen asennuksessa on otettava huomioon, että vaakalevyn tulee sijaita mahdollisimman hyvin tienpinnan tasossa niin tien pituus- kuin poikkisuunnassa. Tutkimuksessa mukana olleet vaa'at on perustettu routimattomalle tiepenkereelle. Tästä huolimatta tienpinta oli liikkunut vaakaan nähden monin paikoin 2 cm. Tämän suuruiset paikalliset tienpinnan muutokset pystysuunnassa aiheuttavat jo merkittäviä dynaamisia akselipainon muutoksia. Vaaka-aseman paikan valinnassa tuleekin kiinnittää erityistä huomiota liikkumattoman tiepenkeroon löytämiseen. Ennen lopullista paikan valintaa tienpinnan liikkeitä on syytä seurata eri vuodenaikoina vaaitemalla.

Dynaamisten akselipainojen takia hetkellinen akselipaino voi poiketa tasaiselakin tiellä $\pm 10\%$ staattisesta akselipainosta. Tietokonesimulointien perusteella havaittiin, että tien epätasaisuuksista aiheutuvien dynaamisten akselipainojen vaimeneminen vaatii ennen vaaka-asemaa noin 100 metriä tasaista ja suoraa osuutta. Lisäksi havaittiin, että vaakalevyn tulee olla mahdollisimman hyvin (noin ± 5 mm) tienpinnan tasossa. Edellä mainitun takia vaaka-aseman paikan valinnassa on syytä määrittää etukäteen tien pituusprofiili joko PTM-autolla tai vaaitemalla, jotta voidaan varmistua haitallisten aallonpituuksien riittävän pienestä tasosta.

Tien pituussuuntaisen tasaisuuden lisäksi vaa'an pitää olla tienpinnan tasossa myös tien poikkisuunnassa. Nastarenkaiden käyttö aiheuttaa tiehen uria. Levyvaa'assa asfalttipäällystettä kovempi betonielementti ei kulu kuitenkaan samaan tahtiin päällysteen kanssa, jonka seurauksena tien pituusprofiiliin syntyy ylimääräisiä dynaamisia akselipainoja aiheuttava epäjatkuvuuskohta. Edellä mainittu lisää myös vaa'an mekaanista rasitusta, joka on ilmennyt vaakojen rikkoutumisena.

Raskaiden ajoneuvojen dynaamisista akselipainoista erottuu tyypillisesti kaksi taajuutta: rungon ominaistaajuus (noin 2 Hz, vastaa 11 metrin aallonpituutta nopeudella 80 km/h) sekä akselin ominaistaajuus (noin 10 Hz, vastaa 2,2 metrin aallonpituutta nopeudella 80 km/h). Näiden taajuuksien voimakkuuteen vaikuttaa olennaisesti tien pituusprofiilissa esiintyvät aallonpituudet ja niiden amplitudi. Ajoneuvon ominaistaajuuksia vastaavat tien aallonpituudet käytettävällä ajonopeudella pyrkivät vahvistamaan dynaamisia akselipainoja, ja ovat näin ollen ei-toivottuja. Tästä aiheutuvaa punnituksen mittausepä-tarkkuutta voidaan vähentää joko vaikuttamalla tien pituusprofiiliin tai käyttämällä järjestelmää, jossa punnitus tapahtuu tietyin välein useammalla vaa'alla. Tietokonesimuloinnit osoittavat, että dynaamisten akselipainojen pakottaminen punnituksen kannalta otolliseen vaiheeseen on teoreettisesti mahdollista.

Käytännössä edellä mainitun ratkaisun toteuttaminen on kuitenkin vaikeaa ja liiaksi tien ajomukavuutta heikentävää. Automaattivaakojen valmistajat ovat vasta viime aikoina alkaneet ottaa huomioon akselipainossa tapahtuvia dynaamisia muutoksia. Tämän seurauksena useamman anturin käyttöön perustuvia vaakoja on vasta kokeilukäytössä.

Automaattivaakojen ja staattisten punnitusten tulosten vertailun perusteella tutkitut vaaka-asemat täyttävät pääsääntöisesti vain COST-323:n mukaisen ehdotuksen luokka E:n vaatimukset. Tällöin mittaustarkkuus riittäisi vain raskaiden ja kevyiden ajoneuvojen erotteluun. Vertailuaineisto osoitti myös, että vaakojen kalibrointi ei ollut aivan kohdallaan. Vaakojen uudelleen kalibroinnilla on mahdollista saavuttaa luokka D:n vaatimukset ja kokonaispainopunnituksen osalta jopa luokka C:n vaatimukset. Tämä mahdollistaa punnittujen ajoneuvojen luokittelun jo selvästi paremmin.

Vertailupunnitukset osoittivat lisäksi, että akseliryhmien punnitseminen on epätarkinta. On kuitenkin epäselvää aiheutuuko tämä itse akseliryhmän käyttäytymisestä vaa'an kohdalla. On myös mahdollista, että vaaka-asemilla käytetty mittaustekniikka aiheuttaa ylimääräistä virhettä, sillä nopeudella 80 km/h punnittava akseli on hyvin lyhyen ajan (noin 15 ms) vaa'an päällä. Näinkin lyhyessä ajassa dynaaminen akselipaino voi muuttua merkittävästi. Tämän takia tiedonkeruulaitteiston pitää pystyä ottamaan useita havaintoja punnittavasta akselistä ja olla valmis mittaamaan nopeasti akseliryhmän seuraavaa akselia, jotta voidaan varmistua oikeasta mittaustuloksesta.

6 JATKOTUTKIMUKSIA

Tielaitos on tehnyt valtakunnallisia akselipainotutkimuksia vuosina 1971, 1976, 1984 ja 1986 sekä pienempiä erillisiä painotutkimuksia vuosina 1962, 1963, 1974 ja 1982. Sen jälkeen punnitus on perustunut automaattivaakojen käyttöön. Niistä saatu punnitustieto on kuitenkin osoittautunut epätarkaksi ja puutteelliseksi. Niinpä tämän hetkinen tietämys vallitsevista akselipainosta on sangen huono.

Akselipainojen mittaus tulee yhä tärkeämmäksi lähitulevaisuudessa. Suomen itäliikenteen määrä kasvaa suuresti lähivuosina erityisesti Suomen liittyessä Euroopan Unioniin. Itäliikenteessä tullaan käyttämään kotimaisista kuorma-autoista poikkeavaa ajoneuvokalustoa. EU-määräykset voivat muuttaa oleellisesti suomalaistakin kuorma-autokalustoa. Siten tulevat akseli- ja kokonaispainojakautumat saattavat olla paljonkin nykyisistä poikkeavia. Kuormitusten määrän lisääntyessä kasvaa tarve tietää tierasitusten suuruus. Mikäli akselipainot tiedetään riittävän hyvin, tienpidon ohjaukseen käytettävien PMS-mallien tarkkuus paranee. Tarkkuusvaatimukset myös kasvavat, koska tierakenteissa aletaan käyttää yhä enemmän sementtistabiloituja materiaaleja, joiden kuormitusherkyys on paljon suurempi kuin tavanomaisten asfalttirakenteiden.

Tielaitos on panostanut vuodesta 1987 lähtien merkittävästi automaattisiin akselipainovaakoihin. Käyttöönoton jälkeen saadut mittaustulokset osoittavat kuitenkin, että laitevalmistajien ilmoittamiin tarkkuuksiin ei päästä. Vaakojen mekaaninen- ja säänkestävyys on osoittautunut puutteelliseksi. Ulkomaalaisia vaakoja ei oltu tehty Suomen vaativiin ilmasto-olosuhteisiin ja mekaanisiin rasituksiin.

Automaattisia vaakoja kehitetään voimakkaasti monissa maissa ja sekä teknillisistä että standardisointisista (EU) kansainvälinen yhteistyö on koettu tärkeäksi. Forum of European National Highway Laboratories (FEHRL) teki tutkimusohjelman Strategic European Road Research Programme (SERRP), jossa on esitetty 15 erillistä tutkimusta. Näistä päätettiin aloittaa välittömästi kolme, joista yksi koski automaattisia vaakoja eli WIM-vaakoja. Ensimmäinen kokous oli syksyllä 1993, jossa Suomi aktiivisesti vaikutti ryhmän suunnitelmiin. Projektista muodostui COST-323 projekti ja Suomi oli eräänä ensimmäisistä allekirjoittajamaista. Ryhmä järjestää ensimmäisen eurooppalaisen WIM-konferenssin maaliskuussa 1995 ja valmistelee WIM-vaakojen vertailututkimusta sekä standardisointia. Suomella on mm. tästä tutkimuksesta saatua tietämystä yhteistyöhön annettavaksi erityisesti dynaamisista akselipainoista, niiden mittaamisesta ja vaativista ilmasto-olosuhteista. Toisaalta yhteistyö luo hyviä kontakteja ja lisää tietämystä tämänhetkisestä tekniikasta ja kokemuk-

sista. Mitään viisasten kiveä ei lähivuosina tultane löytämään vaan kysymys on tasaisesta jatkuvasta kehityksestä.

WIM:iin liittyviä ongelmia, mm. dynaamisen akselipainon satunnaisuutta selvitetään myös OECD:n DIVINE-projektissa, missä Suomi on aktiivisesti mukana.

Tässä tutkimuksessa toteutettiin kolme osaa kahdeksanosaisesta tutkimussuunnitelmasta. Tutkimuksessa saadut tulokset antavat aiheetta jatkaa alkupe-
räisen tutkimussuunnitelman pohjalta kuitenkin niin, että tämän tutkimuksen antamaa uutta tietoa käytetään hyväksi jatkoa suunniteltaessa.

Tielaitoksella on neljä toimivaa automaattista akselipainovaakaa. Tämän tutkimuksen perusteella suositellaan niiden pitämistä kunnossa ja käytön jatkamista edelleen. Niiden ja lähiympäristön tienpinnan liikkeitä tulisi seurata ja kalibroitua kehittää, sillä nyt eräät niistä antoivat systemaattisesti liian pieniä ja eräät liian suuria arvoja.

Tutkimuksessa mukana olleiden vaakojen lisäksi olisi syytä aloittaa kokeilut toimintaperiaatteeltaan toisenlaisilla vaa'oilla, kuten pietso- tai valokaapeleilla sekä siltaan kiinnitetyillä venymäliuskoilla. Kokeilut tulisi aloittaa mieluiten siten, ettei osteta vain valmista järjestelmää vaan päästään myös kiinni itse laitteen toimintaan, jota pyritään mahdollisimman hyvin vertailemaan myös muilla mittaussuunnitelmissa. Tässä yhteydessä voisi tulla harkittavaksi myös know-how'n välittämistä jollekin suomalaiselle yhtiölle, joka saattaisi aloittaa laitteen valmistuksen niin, että VTT:llä tai Tielaitoksella olisi mahdollisuus päästä sisälle järjestelmään.

Dynaamisten akselipainojen vaikutusta voidaan vähentää valitsemalla vaa'an paikka siten, että se sijaitsee tasaisella tiellä. Dynaamisen akselipainon vaikutus voidaan parhaiten ottaa huomioon asentamalla useampia vaakoja peräkkäin tarkoin harkituille etäisyyksille. Tällöin saadaan punnitustulos dynaamisen akselipainon eri vaiheista, joiden avulla on mahdollista laskea staattinen akselipaino.

Automaattivaakapunnituksessa ei ole kysymys yksinomaan mittaustekniikasta vaan myös kokonaisuuden ymmärtämisestä. Ei ole myöskään luultavaa, että lähiaikoina mikään valmistaja pystyisi esittämään sellaista mittaussuunnitelmaa, joka olisi valmis, vaan todennäköisesti tapahtuu jatkuvaa, joskin hypähtele-
vää kehitystä. Kansainvälinen yhteistyö on tärkeää; oleellista sille ja sen onnistumiselle on, että on myös jotain annettavaa.

7 KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Halonen, P., Laitinen, V. Teiden tasaisuusmittareiden vertailu. PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuk-sien vaikutus tierasituksiin. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 167. Espoo, toukokuu 1993.
2. Halonen, P., Huhtala, M. & Laitinen, V., Dynaaminen rasitusin-deksi (DRI). Tielaitoksen selvityksiä 74/1993. Helsinki 1993. 41 s. + liitt. 10 s.
3. Huhtala, M., Halonen, P. & Pihlajamäki, J., Spatial Distribution of Dynamic Loadings on Pavements. Preprint 931062. Transpor-tation Research Board. 72nd Annual Meeting January 10-14, 1993. Washington D.C. 20 p.
4. Huhtala, M., Pihlajamäki, J. & Halonen, P., WIM and dynamic loading of pavements. Heavy vehicles and roads. Proceedings of the third international symposium on heavy vehicle weights and dimensions. Cambridge, UK June 28 - July 2, 1992, pp. 272-277.
5. Dynamic loading of pavements. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD. Paris 1992. 184 s.
6. Huhtala, M., Vesimäki, M. & Halonen, P., Computer Simulation of Road-Vehicle Dynamic Interaction Forces of Three and Four-Axle Trucks. Vehicle - Road Interaction II Conference held in Santa Barbara, California May 17-22 1992. Vehicle-Road Inte-raction, ASTM STP 1225, B.T.Kulakowski, Ed. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994, 1994, pp. 36-51.

8 LIITTEET

- Liite 1. Tutkimussuunnitelma.
- Liite 2. Tietokonesimuloinneissa käytetyt tien pituusprofiilin muokkaus-toimenpiteet.
- Liite 3. Kotkan vaaka-asemalta simuloidut dynaamiset akselipainot, suunta 1.
- Liite 4. Kotkan vaaka-asemalta simuloidut dynaamiset akselipainot, suunta 2.
- Liite 5. Nakkilan vaaka-asemalta simuloidut dynaamiset akselipainot, suunta 1.
- Liite 6. Nakkilan vaaka-asemalta simuloidut dynaamiset akselipainot, suunta 2.
- Liite 7. Kuorma-autotyypit, TIEL:n tavarakuljetustilastot.
- Liite 8. Periaatekuva EVOROAD automaattivaa'asta.
- Liite 9. COST-323:n ehdotus automaattivaakojen luokittelusta.
- Liite 10. Vertailupunnitusten havainnot, Kotka suunta 1.
- Liite 11. Vertailupunnitusten havainnot, Kotka suunta 2.
- Liite 12. Vertailupunnitusten havainnot, Nakkila suunta 1.
- Liite 13. Vertailupunnitusten havainnot, Nakkila suunta 2.

15.4.1994

WIM-TUTKIMUS

Tielaitos on rakentanut eri puolelle Suomea WIM-asemia, joilla pyritään seuraamaan kuorma-autojen painojen kehitystä. Tien suunnittelussa tarvitaan akselipainoja kuormitusekvivalenttien laskentaan. Tavoitekantavuuden laskemiseen tarvittavien kuormitusker-
talukujen määrityksessä päällysteinsinöörit tarvitsevat tietoa akselipainoista.

WIM-asemien käytössä on ilmennyt ajan myötä teknisten ongelmien lisäksi muutoksia mittaustarkkuudessa. WIM-asemia perustettaessa ei ole ollut saatavilla riittävästi tietoa esim. dynaamisista akselipainoista, jotka voivat vaihdella suhteellisen tasaisellakin tiellä +/- 20 % staattisesta akselipainosta. Myös talvi tuo ongelmia WIM:n käytössä. Nastaren-
kaat kuluttavat päällystettä vaa'an ympäriltä ja erilaisista lämmönjohto-ominaisuuksista aiheutuu vaa'an tai sitä ympäröivän tierakenteen painumista tai nousemista. Nämä ilmiöt aiheuttavat epäjatkuvuuskohdan tien pituusprofiiliin, mistä seuraa dynaamisten akselipai-
nojen lisääntymistä. Pystyäkseen mittaamaan tarkasti todellisen akselipainon WIM täytyy asentaa mahdollisimman tarkasti tien pinnan tasoon ja niin tasaiselle tien osalle, että dynaamisten akselipainojen vaikutus mittaustulokseen on vähäinen. WIM-asemien käyttöä osana raskaiden ajoneuvojen tyypitystä ja sen avulla yleiskuvan luomista ajoneu-
vojen aiheuttamista tierasituksista koko tieverkolla vaatii yhä selvittämistä.

VTT esittää tehtäväksi tutkimuksen, jossa selvitetään WIM-asemien mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus sisältää seuraavat osat:

Tien tasaisuuden vaikutus

1. Tien pituusprofiilit mitataan Kotkan ja Nakkilan WIM:en kohdalta molempiin ajosuuntiin. Mittaukset tehdään VTT:n PTM-autolla sekä tarvittavilta osin VTT:n Dipstickillä. Tiepiiri järjestää tarvittavan liikenteenohjauksen. Vuodenaikojen vaikutusta tien pituusprofiiliin ei edellä mainituilla menetelmillä pystytä riittävän tarkasti mittaamaan. Tutkimuksen yhteydessä tiepiiri seuraa VTT:n ohjeiden mukaisesti WIM:n ja ympäröivän tierakenteen pystyaseman muuttumista vaa'itsemalla keväällä suurimman routanousun aikaan, kesällä ja syksyllä ennen pakkasia. VTT tekee profiilimittaukset toukokuun alkupuolella. Mitattuja profiileja käytetään hyväksi myös kohdan 2 simuloinneissa.
2. Dynaamisten akselipainojen syntymistä WIM:en kohdalle selvitetään tietokone-simuloinnein mitattujen tien pituusprofiilien perustella. Simuloinnissa on mahdollista muokata tien profiilia, esim. tasoittaa sitä tai tehdä keinotekoisia epätasaisuuksia tielle. Näin voidaan hakea keinoja, joilla on mahdollista vähentää dynaamisten akselipainojen esiintymistä WIM:n kohdalla. Simuloinnilla voidaan tutkia myös WIM:n pystyaseman muuttumista tien pinnan suhteen ja sen vaikutusta WIM:lle kohdistuviin dynaami-
siin akselipainoihin. Simuloinnit aloitetaan profiilimittausten valmistuttua, ja tehdään syyskuun loppuun mennessä.

3. Verrataan mitattua dynaamista akselipainoa ja samanaikaisesti rekisteröityä WIM:n antamaa akselipainoa. Mittaukset tehdään VTT:n mittauskuorma-autolla, mittauksissa käytetään täyteen ja osittain kuormattua autoa. Vertailu tehdään Kotkan ja Nakkilan WIM:en kohdalta molempiin ajosuuntiin. Tielaitos toimittaa WIM:n antamat tulokset VTT:lle. Tiepiirit avustavat kuorman vaihdossa ja tarvittavassa punnituksessa. Mittaukset tehdään kesän loppuun mennessä.
4. Kotkan tiepiirin osoittamaan kuorma-autoon asennetaan kullekin akselille anturi dynaamisen akselipainon mittaamista varten. Asennetut anturit kalibroidaan staattisesti. Asennus ja kalibrointi tehdään tiepiirin tiloissa. Tiepiiri avustaa raskaissa työvaiheissa, kuten kuorma-auton/kuorman nostoissa, renkaiden irroituksissa jne. Kalibroinnissa tarvittavat vaa'at toimittaa Tielaitos. Tutkimusosaan 3. liittyen mitataan tiepiirin instrumentoidulla kuorma-autolla dynaamiset akselipainot Kotkan WIM:n kohdalta molempiin ajosuuntiin ja rekisteröidään WIM:n antamat akselipainot. Asennukset ja mittaukset tehdään kesän loppuun mennessä. WIM-tutkimuksen lisäksi instrumentoitua autoa voidaan käyttää esim. DRI-tunnusluvun tarkentamiseen.
5. Kokeillaan dynaamisten akselipainojen vähentämiseen tähtääviä profiilin korjauksia käytännössä, mikäli tien pituusprofiilin muokkausta simuloimalla ("tärinäraidat", jyräintä tms.) havaitaan, että näin voidaan parantaa WIM:n mittauksarkkuutta. Parannettava(t) WIM-asema(t) valitaan erikseen tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa. VTT suorittaa tässä yhteydessä dynaamisen akselipainomittauksen sekä omalla mittauskuorma-autolla että mahdollisesti piirin instrumentoidulla autolla. Toimenpiteistä sovitaan syksyn aikana, kun simulointien antamat tulokset ovat käytettävissä.

Kuorma-autojen tyypit

6. Vertaillaan staattisesti punnittujen akselipainojen ja WIM:n antamien akselipainojen suuruutta erilaisilla raskailla ajoneuvoilla. Vertailu tehdään Kotkan ja Nakkilan vaa'oilta molempiin ajosuuntiin. Kummallakin vaa'alla käytetään aineiston keräämiseen yksi työpäivä ajosuuntaa kohden. Vertailussa kerätään dynaamisiin akselipainoihin vaikuttavia ajoneuvojen parametreja, kuten akselistot, jousitukset, rengastukset jne. VTT suorittaa edellä mainittujen parametrien keräämisen ja tekee yhteenvedon niistä. Tielaitos huolehtii ajoneuvojen pysäytyksestä ja punnituksesta. Vertailu tehdään toukokuun aikana.

Mallin luominen koko tieverkolle

7. Mallinnetaan kuorma-autojen tyyppien perusteella koko tieverkolle aiheutuvia tierasituksia. Koska WIM-asemia on vain muutamia, on tarpeellista kehittää WIM:ltä saatujen tulosten perusteella yksinkertaisempi tapa arvioida muulle tieverkolle aiheutuvat tierasitukset. Mikäli kohdan 6 vertailu antaa riittävää aineistoa mallin tekoon, mallinnus tehdään syksyllä.

8. **Muiden WIM-tyyppien soveltuvuus Suomen olosuhteisiin** selvitetään lyhyesti, sillä Suomessa on toistaiseksi käytetty vain WIM-levyvaakoja. Mahdollisia vaihtoehtoja voivat olla esim. kapasitiivinen anturi, pietsokaapeli, monianturitekniikkaan perustuvat vaa'at, valokaapelit ja rumpuun/siltaan asennettavat anturit. Erityisen kiinnostavia ovat tierakenteen sisään asennettavat ratkaisut, sillä talvinen päällysteen nastarengaskuluma on rajoittanut etenkin pintakaapelointiin perustuvien WIM:en (kapasitiiviset anturit ja pietsokaapeli) käyttöä. Selvitys tehdään syksyllä.

Kenttämittausten työnjako Tielaitoksen/piirien ja VTT:n välillä

VTT:n työmäärissä on huomioitu vain se aika, joka kuluu toimittaessa yhtäaikaan Tielaitoksen/piirien kanssa.

1. **Tielaitos/piirit:** WIM-asemien kohdalta tieprofiilien vaa'itus kolme eri kertaa VTT:n ohjeiden mukaisesti (3 hlöä, 1 pv ? / kohde). Liikenteenohjaus VTT:n mitatessa Dipstickillä profiileja (2 hlöä n. 4 tuntia / kohde).

VTT: Tien pituusprofiilien mittaus PTM-autolla ja Dipstickillä (2 hlöä n. 1 pv / kohde).

3. **Tielaitos/piirit:** Nosturiauto käyttäjiin ja vaa'at VTT:n 3-akselisen kuorma-auton kuorman vaihtoon (n. 4 tuntia / kohde). Henkilö rekisteröimään WIM:n antamat tulokset VTT:n mittausten aikana (1 hlö 1,5 pv / kohde).

VTT: Akselipainomittaukset kuorma-autolla (2 hlöä 2 pv / kohde).

4. **Tielaitos/piirit:** Nykyaikainen 3-akselinen kuorma-auto antureiden asennusta varten. Työtilat (sisätila) antureiden asennukseen, jossa oltava mahdollisuus irroittaa useampi pyörä samanaikaisesti. Avustava henkilö pyörien irroittamiseen yms. Nosturiauto käyttäjiin, painot ja vaa'at kalibrointia varten. Kesto n. 1 viikko. Mittausta varten kuljettaja ja WIM:n valvoja (n. 1 pv).

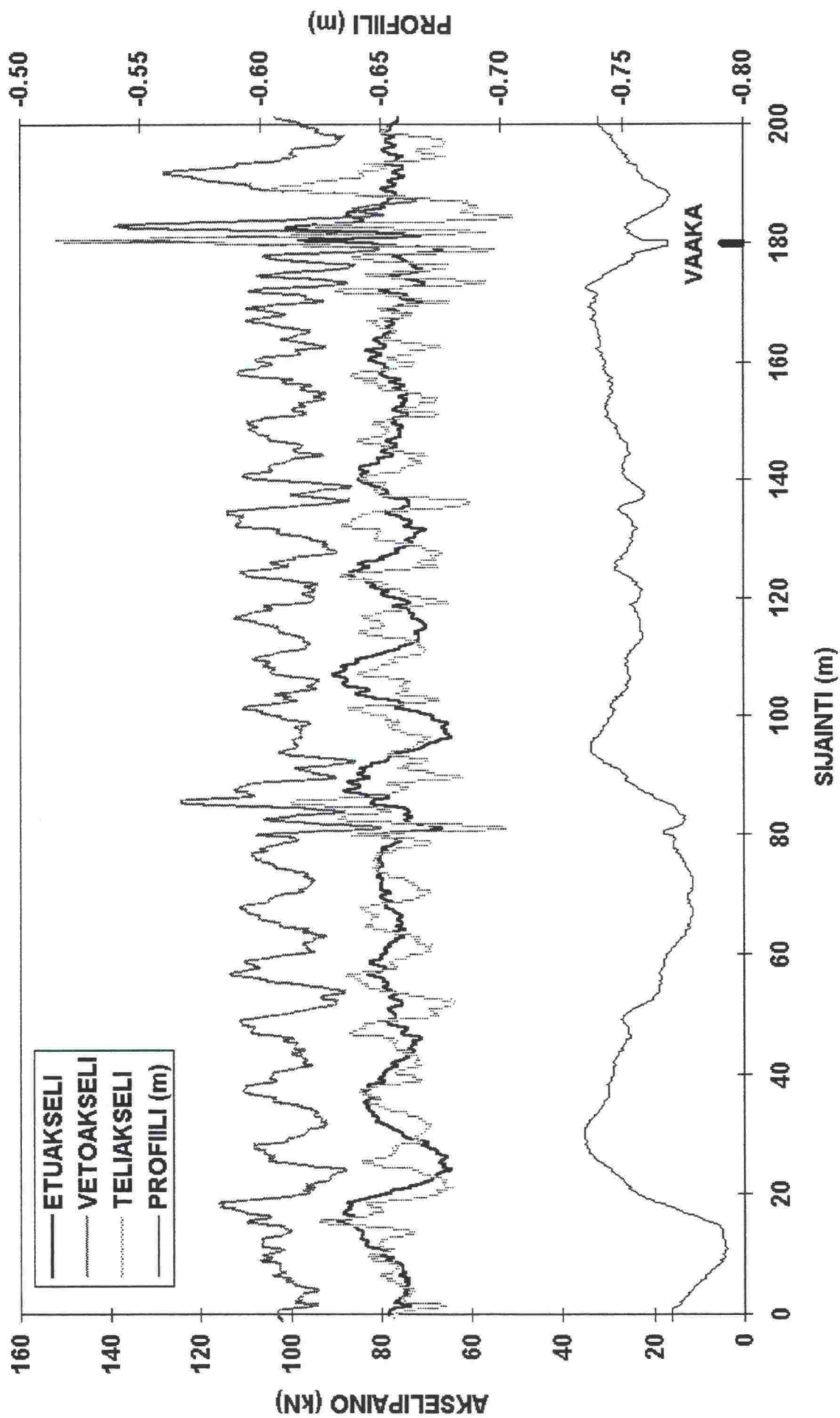
VTT: Antureiden asennus (2 hlöä n. 1 viikko). Mittaus (1 hlö n. 1 pv).

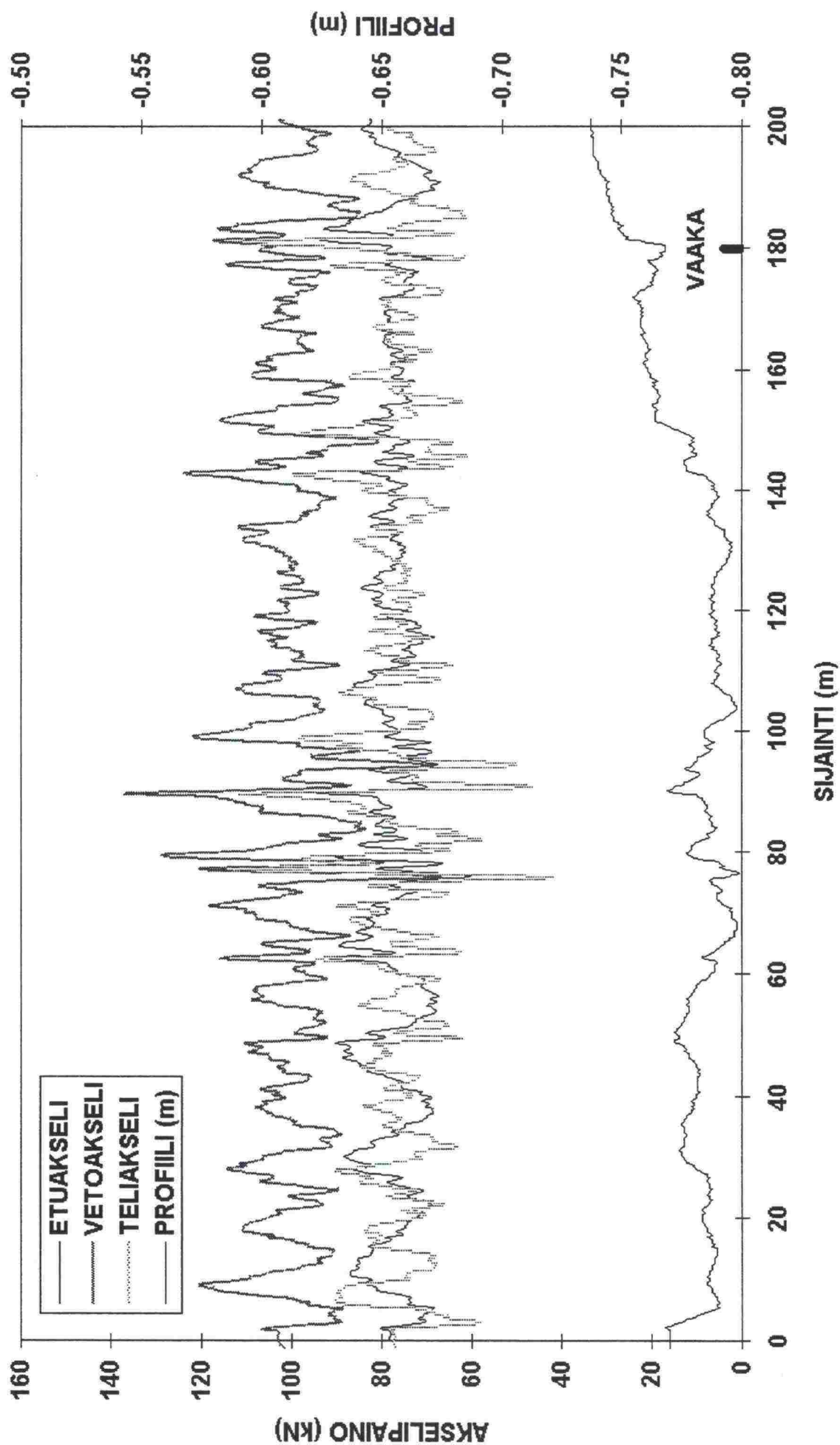
6. **Tielaitos/piirit:** Liikenteenohjaus autojen pysäytystä varten (? hlöä). Riittävästi vaakoja ja henkilöstöä myös yhdistelmäajoneuvojen punnitukseen. Henkilö WIM:n antamien tulosten rekisteröintiin. Kesto n. 2 pv / kohde.

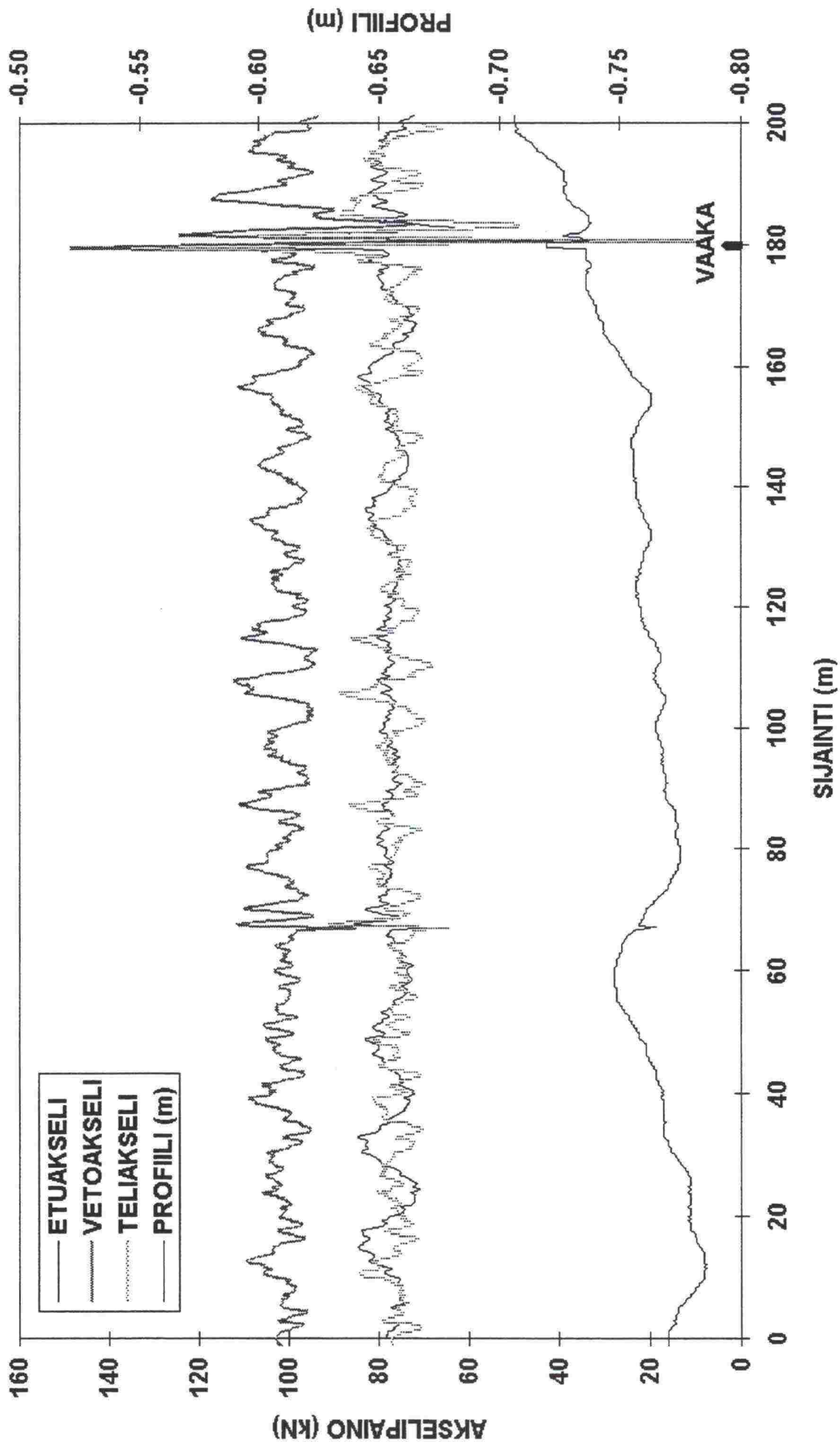
VTT: Parametrien keräys (1 hlö 2 pv / kohde).

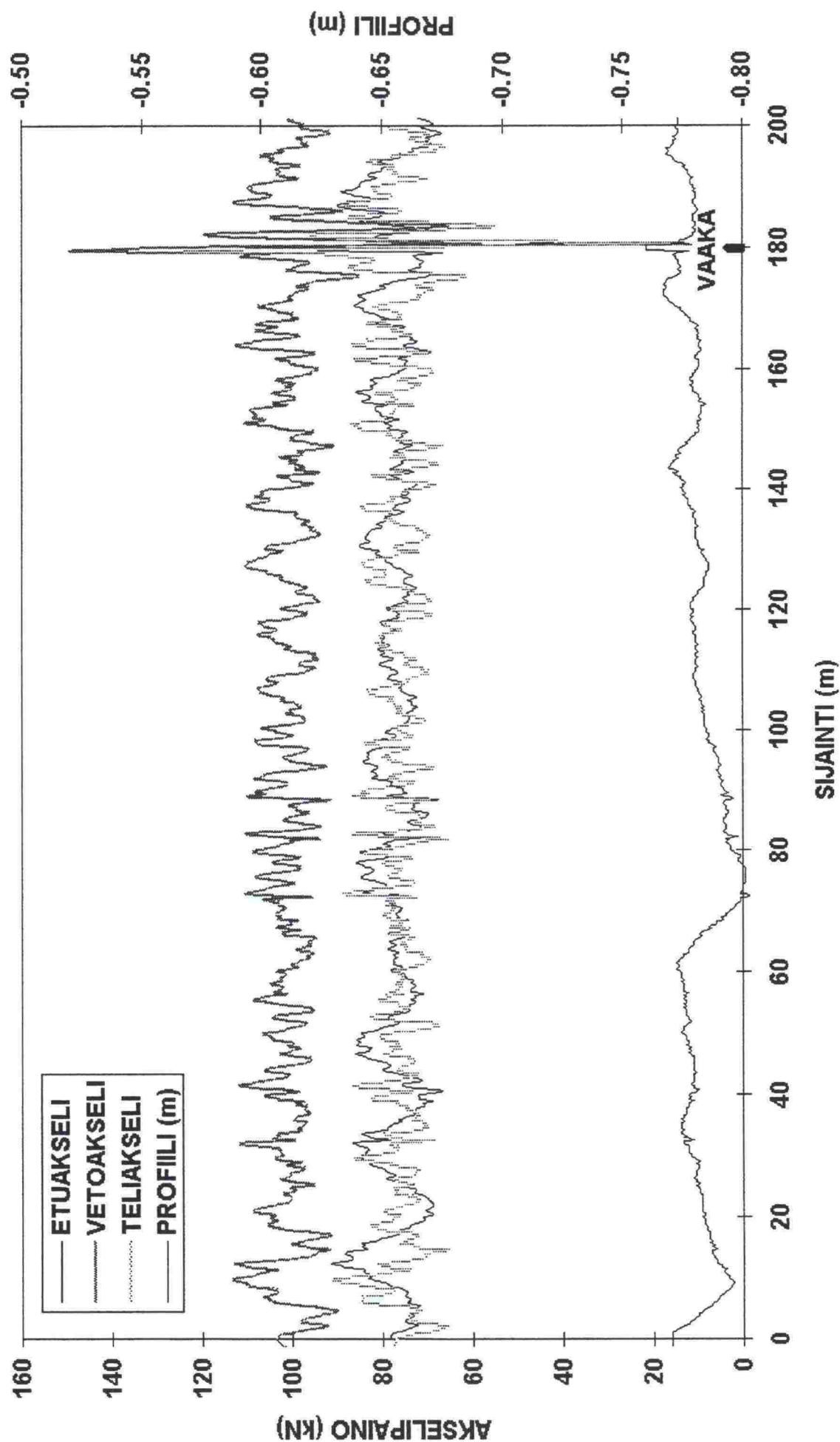
| SIMULOINTI | TIEN PROFIILI | MUOKKAUSTOIMENPIDE |
|------------|-------------------|--|
| 1. | Kotka, suunta 1 | mitattu, 80 km/h |
| 2. | Kotka, suunta 2 | mitattu, 80 km/h |
| 3. | Nakkila, suunta 1 | mitattu, 80 km/h |
| 4. | Nakkila, suunta 2 | mitattu, 80 km/h |
| 5. | " | mitattu, 60 km/h |
| 6. | " | mitattu, 70 km/h |
| 7. | " | mitattu, 90 km/h |
| 8. | " | 2 metrin rampit |
| 9. | " | 3 metrin rampit |
| 10. | " | 4 metrin rampit |
| 11. | " | 5 metrin rampit |
| 12. | " | vaakalevy +11 mm pinnan tasosta |
| 13. | " | vaakalevy +6 mm pinnan tasosta |
| 14. | " | vaakalevy +1 mm pinnan tasosta |
| 15. | " | vaakalevy -4 mm pinnan tasosta |
| 16. | " | vaakalevy -9 mm pinnan tasosta |
| 17. | " | 1 ura, 1,0 m ennen vaakaa |
| 18. | " | 1 ura 1,25 m ennen vaakaa |
| 19. | " | 1 ura 1,5 m ennen vaakaa |
| 20. | " | 1 ura 1,75 m ennen vaakaa |
| 21. | " | 1 ura 2,0 m ennen vaakaa |
| 22. | " | 2 uraa 1,5 ja 2,0 m ennen vaakaa |
| 23. | " | 2 uraa 1,5 ja 2,25 m ennen vaakaa |
| 24. | " | 2 uraa 1,5 ja 2,5 m ennen vaakaa |
| 25. | " | 2 uraa 1,5 ja 2,75 m ennen vaakaa |
| 26. | " | 2 uraa 1,5 ja 3,0 m ennen vaakaa |
| 27. | " | 2 uraa 1,5 ja 3,25 m ennen vaakaa |
| 28. | " | 1 ura 10 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 60 km/h |
| 29. | " | 1 ura 10 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 70 km/h |
| 30. | " | 1 ura 10 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 80 km/h |
| 31. | " | 1 ura 10 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 90 km/h |

| SIMULOINTI | TIEN PROFIILI | MUOKKAUSTOIMENPIDE |
|------------|-------------------|---|
| 32. | Nakkila, suunta 2 | 2 uraa 10,0 ja 10,5 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 60 km/h |
| 33. | " | 2 uraa 10,0 ja 10,5 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 70 km/h |
| 34. | " | 2 uraa 10,0 ja 10,5 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 80 km/h |
| 35. | " | 2 uraa 10,0 ja 10,5 m ennen vaakaa, vaakalevy pinnan tasossa, 90 km/h |



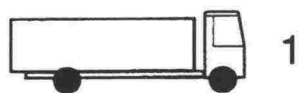




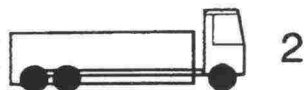


KUORMA - AUTOJEN TYYPPILUOKITUS

KUORMA-AUTOT ILMAN PERÄVAUNUA



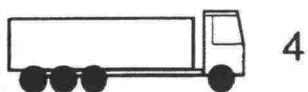
1



2



3



4

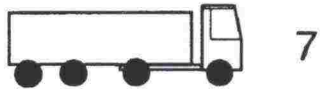
PUOLIPERÄVAUNULLISET KUORMA-AUTOT



5



6



7



8



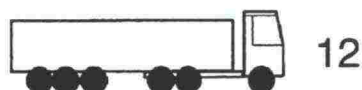
9



10



11



12



13

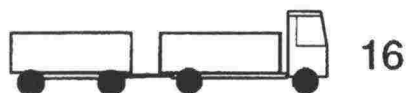


14



15

TÄYSPERÄVAUNULLISET KUORMA-AUTOT



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



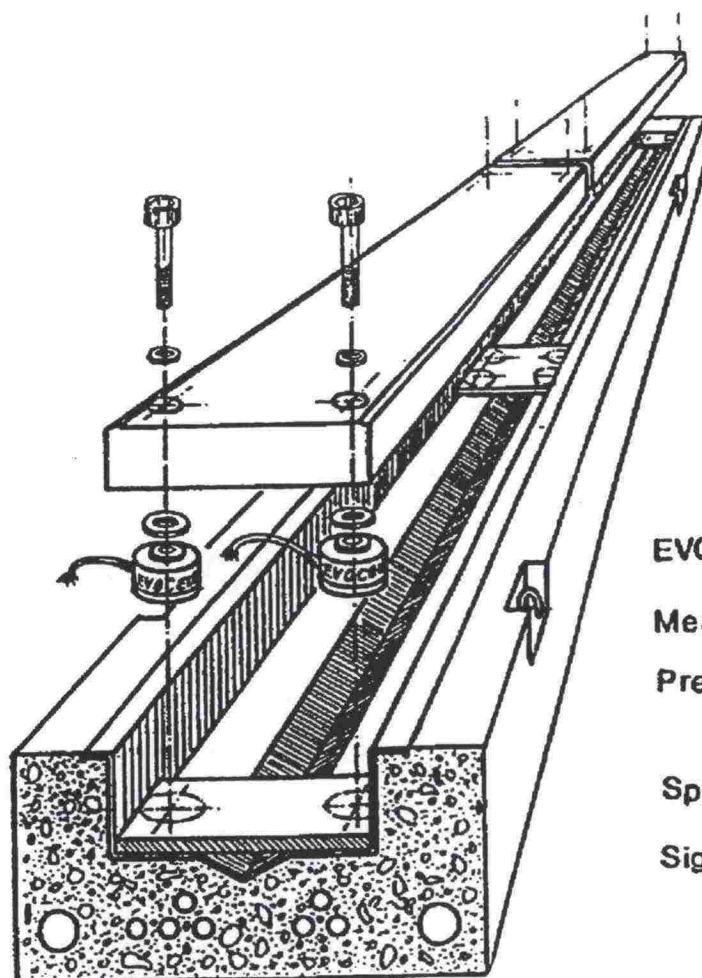
28



29



EVOROAD Weigh-in-Motion System



EVOCELL

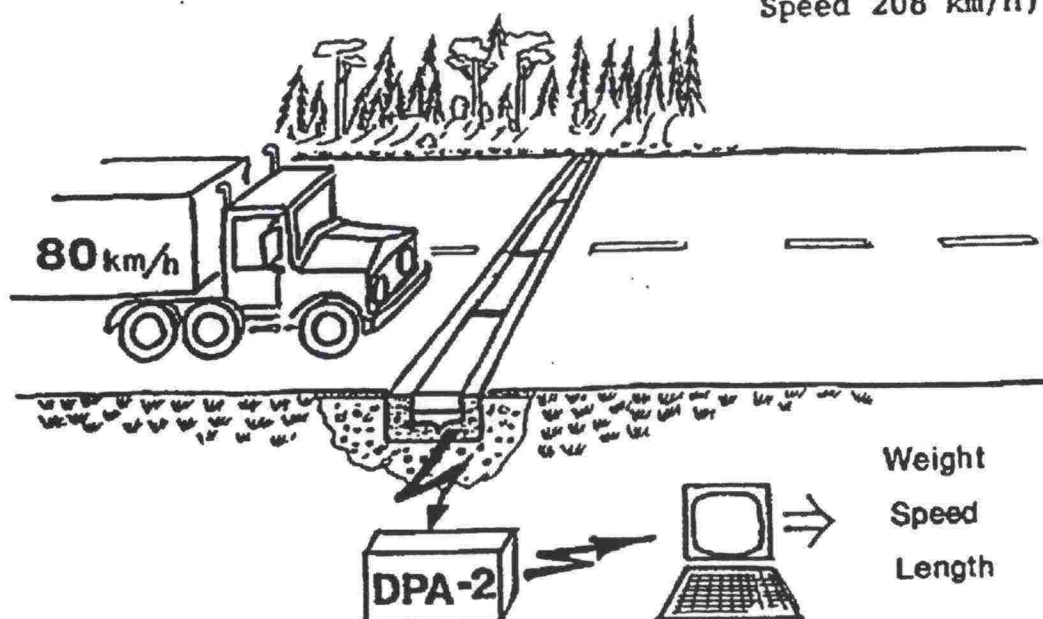
Measuring accuracy is

Press $\frac{1}{1000000}$ mm

Speed 0,003 sek.

Signal processor DPA-2

Speed 80...120 km/h equals 8...5 Measurements/Axle
 Reliable results require at least 3 Measurements/Axle
 (3 Measurements =
 Speed 208 km/h)



EUROPEAN COOPERATION
IN THE FIELD OF SCIENTIFIC AND
TECHNICAL RESEARCH

—
COST
Secretariat

EUCO-COST 323/7/94

Brussels, 21 July 1994
RG/rg

MANAGEMENT COMMITTEE

COST 323

(Weigh-in-motion of road vehicles)

Subject : WIM specifications - standardisation. Submitted by Mr Siffert.

EUCO-COST 323/7/94

WIM SPECIFICATIONS - PRESTANDARDISATION

Work Plan

The problem

There are numerous applications for WIM systems, each requiring a particular configuration and level of accuracy of measurement. To be able to evaluate and compare the performance of these systems, it is necessary to define criteria for evaluation or for acceptance that are clear to everyone.

Recommendations, lists of specifications, criteria for acceptance have been or are in the course of being prepared in a number of countries. Within the framework of the work programmed within COST action 323 are included the development of WIM specifications and work on prestandardisation.

This document presents an analysis of the problem and a work plan intended to bring about these aims.

Proposed work plan

The work plan, set out on the basis of an analysis of the main requirements of WIM that have been expressed and consequent demands on system accuracy and reliability, proposes a number of activities that can be carried out in parallel or in a given order. Details of the activities are given below.

1. Analysis of published specifications.

- ASTM specifications (USA): "Standard specification for highway weigh in motion (WIM systems with user requirements and test method". *Designation E 1318-90 (03/1990)*.
- Specifications for purchasing WIM equipment. UK
- Guide de pose des capteurs piézocéramiques (version 1994). France
- Recommendations pour le choix des sites et la réception des stations de pesage. France (11/93)

2. Evaluation of requirements

The evaluation of requirements corresponding to the main expected applications have been classified according to criteria set out below. This classification takes into account various levels of accuracy (A to E) and various demands for reliability according to the minimum durability necessary to carry out surveys.

2.1 Resolution of light and heavy vehicles

- Application: Global evaluation of traffic on secondary networks.
Evaluation of changing traffic patterns on all types of network between two WIM surveys.
- Accuracy: Class E or D (see table)
- Reliability: Low > 10 to 15 days

The need is to distinguish between light and heavy vehicles and present results in percentage terms. This can be carried out either by non weighing methods (silhouettes) or by setting a threshold on axle or vehicle weight.

2.2 Establishing coarse load histograms. (5 to 10 tonnes).

- Application: Establishing a rough classification of vehicle weights, with 3 or 4 classes. For example, to broadly distinguish between light vehicles, small heavy vehicles and 1 or 2 populations of heavy vehicles with 3 or more axles.

Global evaluation of traffic on secondary networks.

Evaluation of changing traffic patterns on all types of network between two WIM surveys.

- Accuracy: Class D (see table)
- Reliability: Low to medium (> 2 months)

2.3 Establishing load histograms with fine class intervals. (1 to 2 tonnes).

- Application: Global evaluation of the damaging power on all types of network, essentially with flexible, conventional pavements.

Support the classification of networks by order of priority for maintenance.

Detailed studies of changes in traffic patterns.

- Accuracy: Class C. (see table)
- Reliability: Medium (4 to 12 months)

2.4 Detailed knowledge of traffic in circulation (axle or axle group weight, total weight).

- Application: Design of road pavements (particularly for cement bound materials) and of structures (bridges etc); Wear factor and fatigue calculations. Protection of road infrastructure assets.

Research on behaviour of road materials.

Studies of traffic composition.

- Accuracy: Class B. (see table)
- Reliability: Greater than 2 years given the size of investment and the need to carry out long term continuous surveys or very long intermittent surveys.

2.5 Fine analysis of traffic with respect to commercial and statutory regulations.

- Application: Commercial weighing; Checking loading, compliance with regulations.
- Accuracy: Class A. (see table)
- Reliability: Greater than 2 years given the size of investment and the need to carry out surveys requiring high accuracy.

3. Conditions necessary to obtain the required accuracy and reliability.

To achieve the desired level of accuracy and reliability it is necessary to observe a number of procedures that are not solely dependent on the sensor itself.

3.1 Definition of the site characteristics and the alignment of the road.

3.2 Characteristics of the pavement; structural and surface layers.

3.3 Conditions pertaining to the installation of sensors.

3.4 Sensor performance

- in the laboratory (factory check, quality control, evaluation under controlled conditions).
- on site after installation: effect of environmental conditions and changes in structural characteristics of the pavement.

3.5 Performance measured at the output of the system. (after calibration and signal processing).

4. Classes of accuracy.

4.1 Reference. The current reference is static load (axle and total weight), determined by equipment certified for commercial or enforcement purposes. Calibration vehicles (heavy vehicles) are weighed statically: 2 axle, 3 axle (including tandem axles), 4 or 5 axles (semi trailer).

4.2 Tolerances on relative error 5

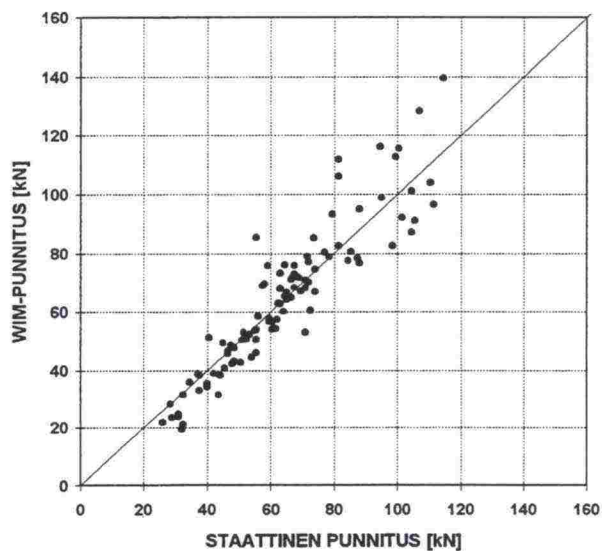
Tolerances on relative error (90% confidence interval) in relation to reference values are indicated in the table below.

| Parameter measured | Class A | Class B | Class C | Class D |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Weight of single axle | +/- 5% | +/-15% | +/-20% | +/-30% |
| Weight of axle group | +/-8% | +/-13% | +/-18% | +/-28% |
| Weight of axle in group | +/-10% | +/-20% | +/-25% | +/-35% |
| Total weight | +/-5% | +/-10% | +/-15% | +/-25% |

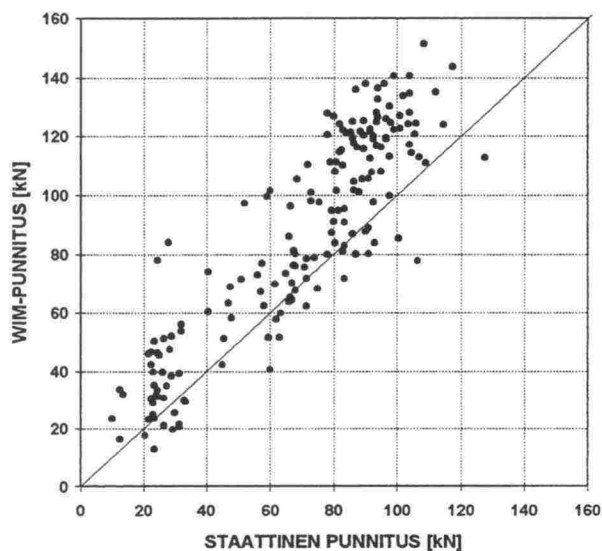
The values in the table are tolerances relative to reference values (for 90% of measurements). They relate to meaningful values obtained at the output of the system associated with the sensor.

The table distinguishes between the accuracy of measurement of the weight of a tandem or tridem axle and that of a single axle from the group.

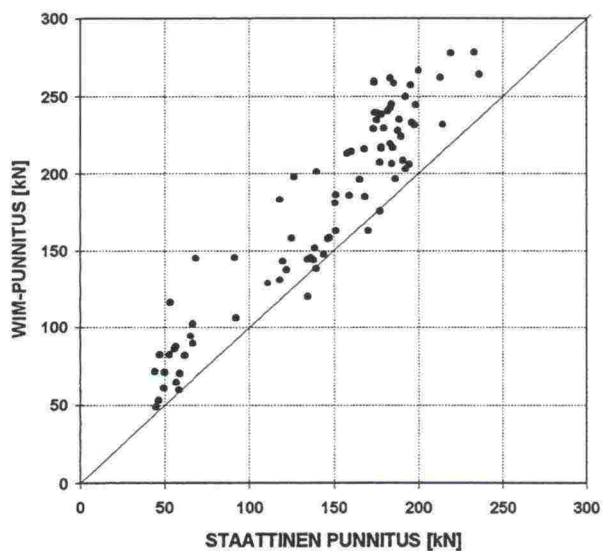
KOTKA, suunta 1



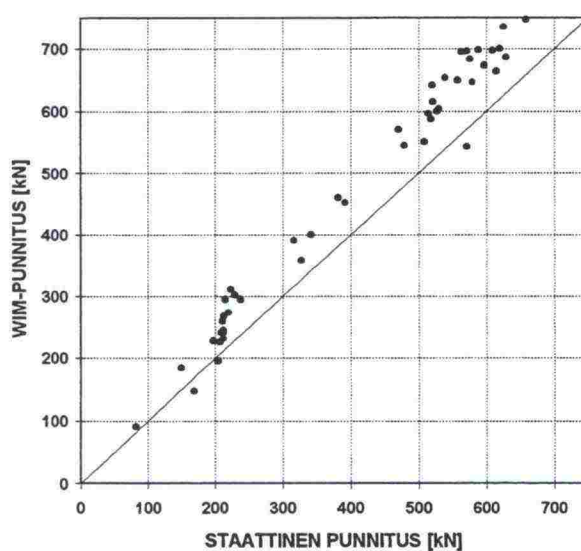
YKSITTÄISET AKSELIT



YKSITTÄISET AKSELIT AKSELIRYHMÄSSÄ

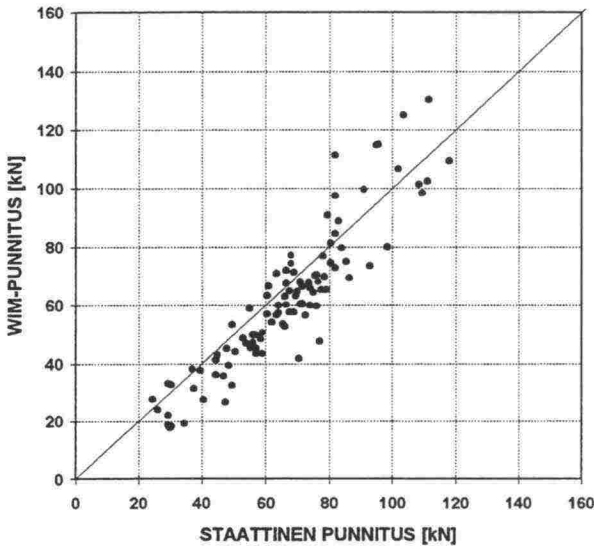


AKSELIRYHMÄT

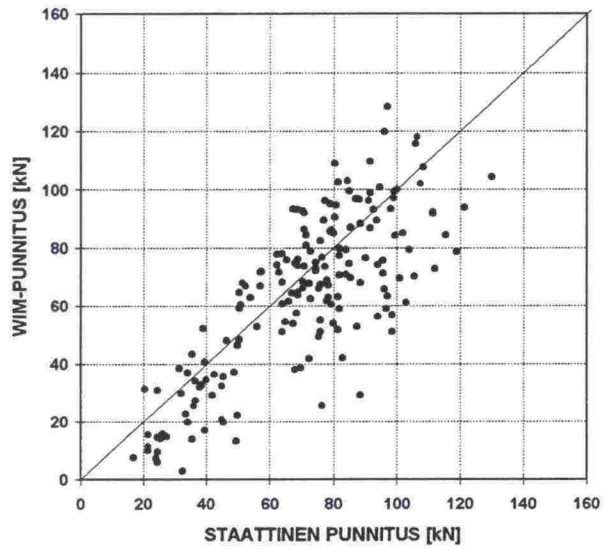


KOKO AJONEUVOT

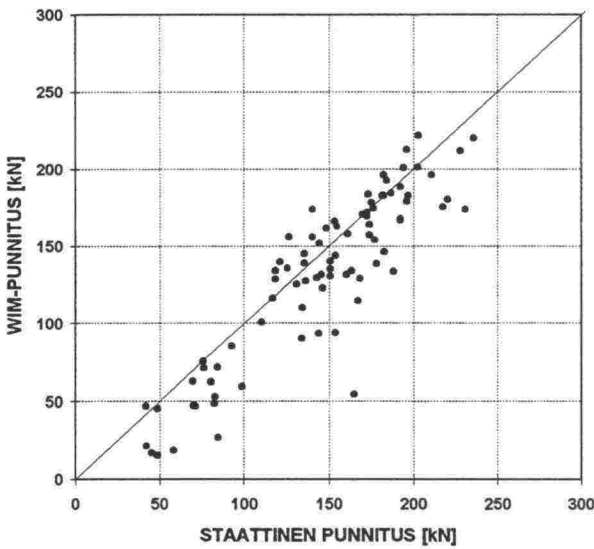
KOTKA, suunta 2



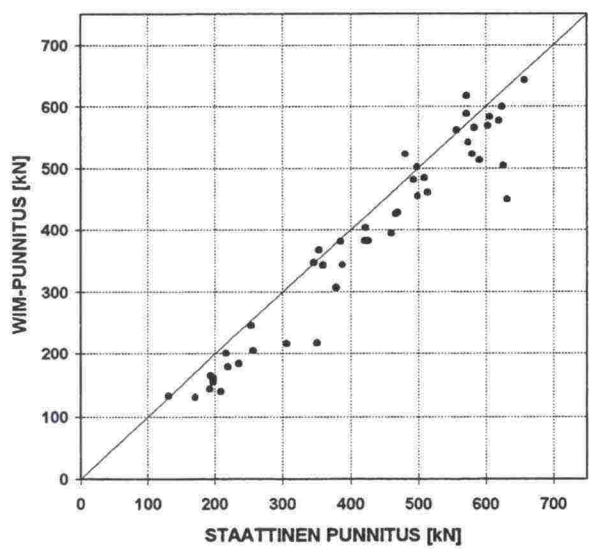
YKSITTÄISET AKSELIT



YKSITTÄISET AKSELIT AKSELIRYHMÄSSÄ

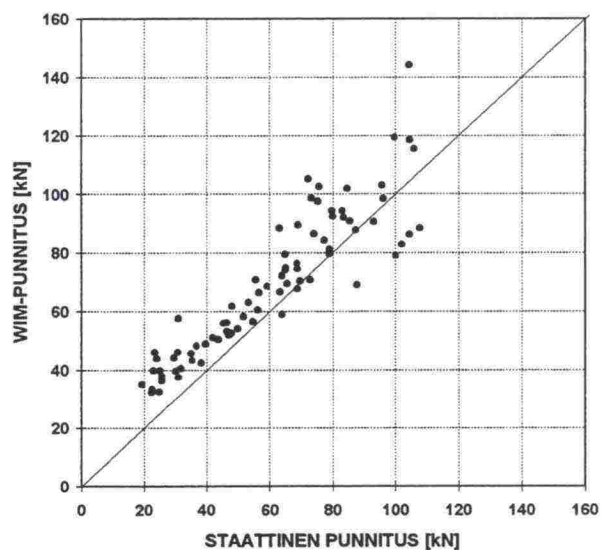


AKSELIRYHMÄT

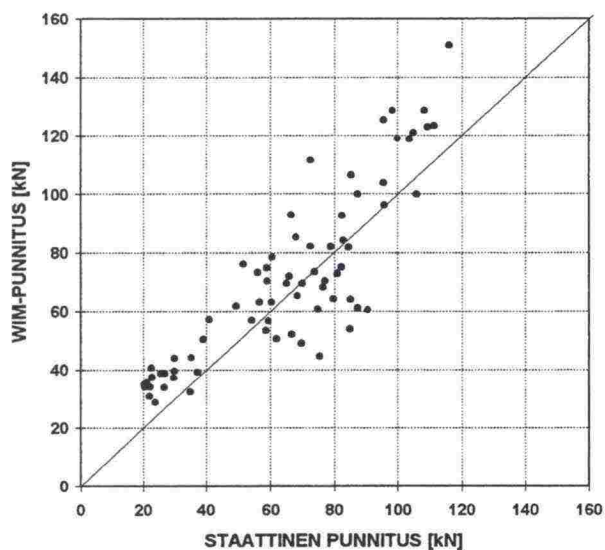


KOKO AJONEUVOT

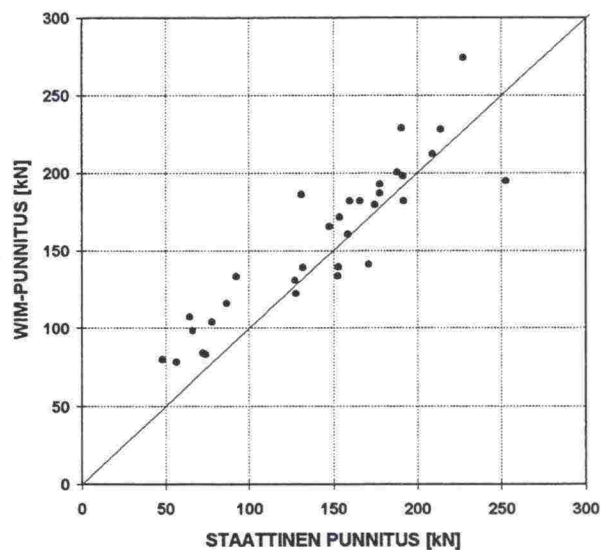
NAKKILA, suunta 1



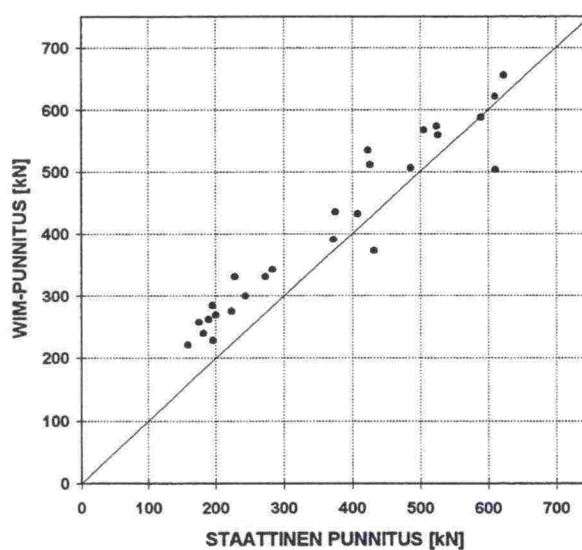
YKSITTÄISET AKSELIT



YKSITTÄISET AKSELIT AKSELIRYHMÄSSÄ

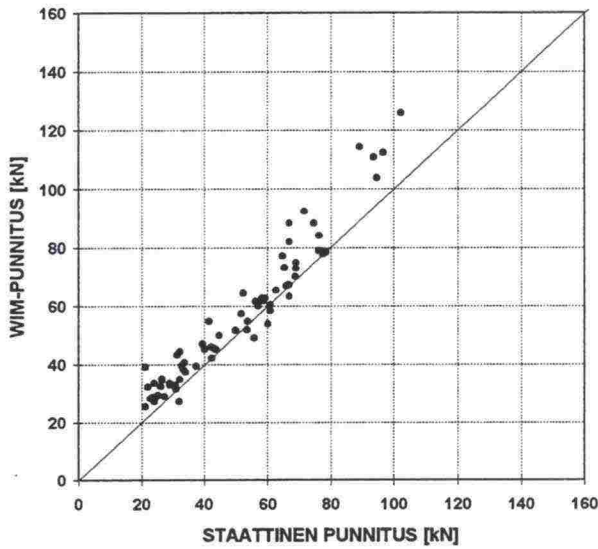


AKSELIRYHMÄT

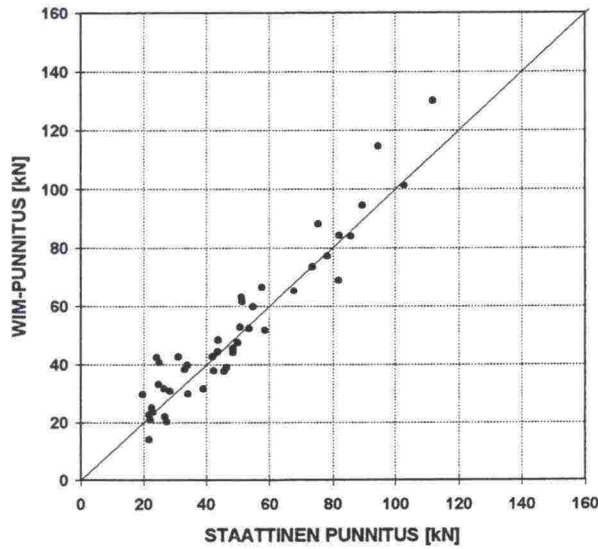


KOKO AJONEUVOT

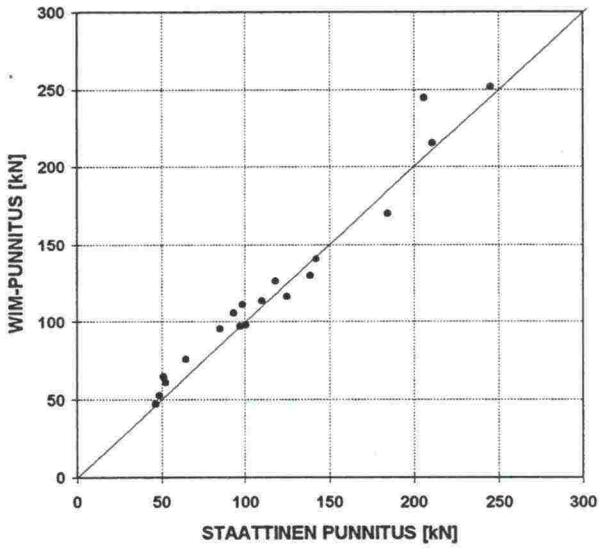
NAKKILA, suunta 2



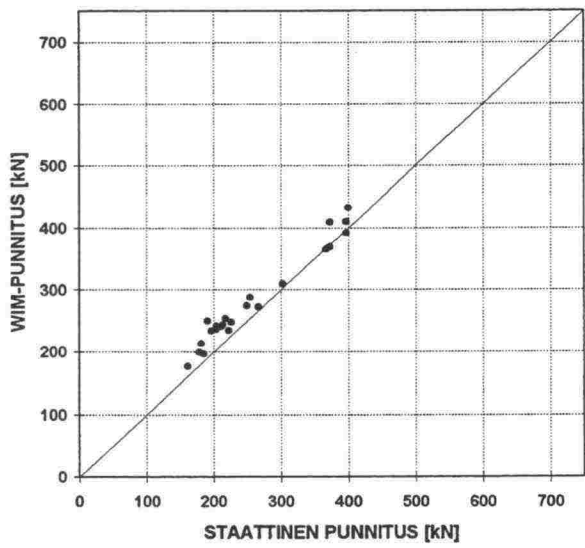
YKSITTÄISET AKSELIT



YKSITTÄISET AKSELIT AKSELIRYHMÄSSÄ



AKSELIRYHMÄT



KOKO AJONEUVOT

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 40/1994 Liikenne ja taajamarakenne. TIEL 3200249
- 41/1994 Ympäristön ohjausjärjestelmien muutokset - tielaitoksen suunnittelu ja päätöksenteko. TIEL 3200250
- 42/1994 Nauhapystyöjitus. TIEL 3200251
- 43/1994 Leveäkaistainen moottoriliikennetie, vt 4 Asemakylä-Räinänperä. TIEL 3200252
- 44/1994 Ajatuksia liikenteen ja maankäytön suunnitteluun. TIEL 3200253
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- 46/1994 Rajoitetun suolan käytön vaikutus asfalttibetonin kulumiseen. TIEL 3200255
- 47/1994 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200256
- 48/1994 Tiensuunnitteltiedon ATK-arkistointisuositus. TIEL 3200257
- 49/1994 Tiesuolan käytön vähentämisen vaikutukset tienvarren mäntyyn (*Pinus sylvestris*): Neulasten suolapitoisuudet ja ulkoiset vauriot vuosina 1992-94. TIEL 3200258
- 50/1994 Panos-tuotosmallin käytön kehittäminen. TIEL 3200259
- 51/1994 Teiden talvisuolauksen vaikutus korroosiokustannuksiin. TIEL 3200260
- 52/1994 Ohituskäyttäytyminen leveäkaistaisella tiellä. TIEL 3200261
- 53/1004 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262
- 54/1994 Liikkujan näkökulmaa korostava väyläympäristön suunnittelu. TIEL 3200263
- 55/1994 Liittymähakuisen maankäytön synnyttämä liikenne. TIEL 3200264
- 56/1994 Mielipide- ja asennetieto tiensuunnittelun laatujärjestelmässä; Tiedonhankintaopas tiensuunnittelijalle. TIEL 3200265
- 57/1994 Päällysteen kunnostusmenetelmien edullisuusvertailu. TIEL 3200266
- 58/1994 Nastojen vähentämisen vaikutus kunnossapitokustannuksiin. TIEL 3200267
- 59/1994 Tampereen itäisen ohikulkutien sosioekonomiset vaikutukset. TIEL 3200268
- 60/1994 Tieliikenteen ruuhkien vaikutukset ja ruuhkakustannukset pääkaupunki-seudulla. TIEL 3200269
- 61/1994 Taajamarakenne ja autoistumisen aika. TIEL 3200270
- 62/1994 Comrehension of Variable Message Signs for Road Conditions. TIEL 3200271E
- 63/1994 Esiselvitys automaattisesta liukkauden havaitsemisesta liikenteessä. TIEL 3200272
- 64/1994 Nastarenkaiden vaikutus matkoihin ja kuljettajien riskinottoon. TIEL 3200273